

В. М. Воронин

# Эргономика больших систем

**Учебник**

Рекомендован учебно-методическим советом  
Уральского государственного университета путей сообщения  
в качестве учебника для студентов  
технических специальностей вузов

V. M. Voronin

# Ergonomics of big systems

**Textbook**

Recommended by the educational-methodical council  
of Ural State University of Railway Transport  
as a textbook for students of technical institutions of higher education

Екатеринбург  
УрГУПС  
2017

УДК 331.101.1(075)  
ББК У9(2) я7  
В75

**Воронин, В. М.**

В75 Эргономика больших систем : учебник / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2017. — 385, [1] с.  
ISBN 978-5-94614-432-2

Рассматриваются важнейшие аспекты современной когнитивной, физической и организационной эргономики, психологические факторы, влияющие на деятельность операторов больших систем, методы профессионального отбора и контроля функциональных состояний. Среди них выделяются эргономические подходы к проектированию систем «человек-машина». Особое внимание уделяется проблеме моделирования деятельности по решению оперативных задач в больших системах. Отдельная глава посвящена проблемам тренажеростроения. Книга рассчитана на проектировщиков автоматизированных систем управления на транспорте, в электро- и трубопроводной энергетике, аспирантов и студентов технических вузов, а также психологов, психофизиологов, инженеров, занимающимися вопросами научной организации труда. Книга будет также интересна и практическим работникам транспорта и других больших систем.

The most important aspects of modern cognitive, physical and organizational ergonomics, psychological factors, which exerts influence on the activity of big system operators, methods of professional selection and control of functional conditions are considered. There are ergonomic approaches to system «person-machinery» singled out among them. A special attention is paid to the problem of modeling of activity that solves operational problems in large systems. A separate chapter is devoted to the problems of simulator building. The book is intended for designers of automated control systems for transport, in electrical and pipeline energy, students and postgraduate students of technical universities, and also for psychologists, psychophysicologists, engineers who is involved in the issues of scientific organization of labor. The book will be interested to practical workers of transport and other large systems.

УДК 331.101.1(075)  
ББК У9(2) я7

*Издано по решению  
редакционно-издательского совета университета*

*Автор:*

В. М. Воронин, д-р психол. наук, профессор УрГУПС и УрФУ

*Рецензенты:*

Э. Э. Сыманюк, д-р психол. наук, профессор, УрФУ

Е. Н. Тимухина, действительный член академии транспорта, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС

ISBN 978-5-94614-432-2

© Воронин В. М., 2017  
© Уральский государственный  
университет путей сообщения  
(УрГУПС), 2017

# Оглавление

<b>Введение</b> . . . . .	6
<b>Глава 1. Эргономика как наука</b> . . . . .	9
1.1. Объект, предмет и задачи эргономики . . . . .	9
1.2. Направления эргономики . . . . .	9
1.3. Междисциплинарные связи эргономики. . . . .	10
1.4. Когнитивная наука и эргономика . . . . .	15
1.5. Историческое развитие эргономики . . . . .	18
<b>Глава 2. Методы эргономики</b> . . . . .	24
2.1. Методы психологических исследований . . . . .	24
<b>Глава 3. Контроль состояния и работы оператора на транспорте</b> . . . . .	45
3.1. Функциональное состояние и его влияние на эффективность деятельности человека-оператора . . . . .	45
3.2. Виды контроля состояния оператора . . . . .	47
<b>Раздел 1. КОГНИТИВНАЯ ЭРГОНОМИКА</b> . . . . .	62
<b>Глава 4. Психические функции и психофизиологические     характеристики человека</b> . . . . .	62
4.1. Виды, свойства и характеристики ощущений . . . . .	63
4.1.1. Зрительная система . . . . .	68
4.1.2. Ощущение цвета и теории цветоощущения . . . . .	70
4.1.3. Слуховая система и слуховые ощущения . . . . .	75
4.1.4. Кибернетический и информационный подходы к восприятию . . . . .	80
4.2. Процессы памяти . . . . .	84
4.2.1. Определение и экскурс в историю изучения памяти . . . . .	84
4.2.2. Память в современной когнитивной психологии . . . . .	86
4.3. Внимание . . . . .	87
4.3.1. Краткий исторический экскурс в психологию внимания . . . . .	87
4.3.2. Виды внимания . . . . .	89
4.3.3. Свойства внимания . . . . .	90
4.4. Мышление . . . . .	92
4.4.1. Определение мышления . . . . .	92
4.4.2. Основные виды мышления . . . . .	92
4.4.3. Оперативное мышление . . . . .	93
<b>Глава 5. Проектирование систем «человек-машина»</b> . . . . .	95
5.1. Системотехническое проектирование . . . . .	95

5.2. Современные эргономические подходы к проектированию систем «человек-машина» . . . . .	103
5.2.1. Общие принципы. . . . .	103
5.2.2. Распределение функций в системе «человек-машина» . . . . .	106
5.2.3. Транспорт и энергетика — как сверхбольшие эргатические системы. . . . .	117
5.3. Этапы и процедуры эргономического проектирования систем «человек-машина» . . . . .	126
<b>Глава 6. Математическое и имитационное моделирование человеко-машинных систем на транспорте. . . . .</b>	<b>140</b>
6.1. Проблема моделирования деятельности по решению оперативных задач на транспорте . . . . .	140
6.2. Теоретико-информационный подход. . . . .	149
6.3. Моделирование на основе теории массового обслуживания. . . . .	151
6.4. Классификация имитационных моделей СЧМ . . . . .	156
6.5. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. . . . .	159
6.6. Имитационное моделирование транспортных человеко-машинных систем . . . . .	161
6.7. Пример имитационного моделирования деятельности. . . . .	166
6.8. Теория обнаружения сигналов и моделирование деятельности . . . . .	179
6.9. Языки имитационного моделирования . . . . .	184
6.9.1. Языки дискретного моделирования . . . . .	185
6.9.2. Специальные средства имитационного моделирования . . . . .	187
6.9.3. Языки смешанного дискретно-непрерывного моделирования. . . . .	188
<b>Глава 7. Надежность оператора и системы . . . . .</b>	<b>195</b>
7.1. Надежность работы техники и оператора . . . . .	195
7.1.1. Некоторые положения теории технической надежности . . . . .	197
7.1.2. Применение методов технической надежности к человеку-оператору . . . . .	202
7.1.3. Классификация ошибок человека-оператора . . . . .	205
7.2. Влияние оператора на надежность системы . . . . .	213
7.2.1. Оператор как компонент системы, способствующий повышению ее надежности. . . . .	213
7.2.2. Надежность оператора и техники относительно опасных отказов . . . . .	218
7.3. Психологические механизмы надежности человека-оператора . . . . .	228
7.4. Надежность программного обеспечения автоматизированных транспортных систем . . . . .	232
7.4.1. Модели надежности программного обеспечения . . . . .	234
7.4.2. Природа ошибок при проектировании ПО и их устранение . . . . .	242

<b>Глава 8. Эргономическая система. Средства и системы отображения информации</b>	246
8.1. Классификация электронных средств отображения визуальной информации	246
8.2. Методика выбора средств отображения информации	253
8.3. Характеристики различных видов ЭСОВИ	254
8.4. Эргономические характеристики систем отображения информации	257
8.5. Проектирование систем отображения информации	262
8.6. Использование слухового канала для отображения информации	263
8.7. Использование тактильного канала для отображения информации	267
<b>Глава 9. Эргономическая система. Органы управления</b>	270
9.1. Общие требования к органам управления	270
9.2. Типы приводных элементов органов управления	274
9.3. Речевой ввод информации	278
9.4. Использование интерфейса «мозг-компьютер» для ввода управляющей информации	279
<b>Раздел 2. ФИЗИЧЕСКАЯ ЭРГНОМИКА</b>	282
<b>Глава 10. Антропометрические требования в эргономике</b>	282
10.1. Антропометрические характеристики человека	282
10.2. Организация рабочего места оператора	288
<b>Глава 11. Автоматизированное моделирование процесса взаимодействия человека и машины</b>	298
11.1. Необходимость автоматизации эргономического проектирования	298
11.2. Примеры эргономических пакетов и их применение	300
11.3. Использование виртуальной реальности в САПР и эргономике	301
<b>Раздел 3. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ЭРГНОМИКА</b>	305
<b>Глава 12. Коллективная деятельность операторов</b>	305
12.1. Взаимодействие операторов в группе	305
12.2. Организация групповой деятельности	310
12.3. Методы изучения коллективной деятельности	319
12.4. Принципы формирования групп	336
<b>Глава 13. Профессиональное обучение операторским профессиям</b>	341
13.1. Формирование навыков и умений	341
13.2. Психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки диспетчерского состава	352
13.3. Психологические принципы применения тренажеров	353
13.4. Интеллектуальный тренажер с имитационной моделью	363
13.5. Адаптивные тренажеры	364
<b>Заключение</b>	380
<b>ГОСТы в эргономике</b>	381

# Введение

Экономическое развитие страны, модернизация действующей и создание новой техники и технологии непосредственно связаны с решением проблемы активизации человеческого фактора. Теоретико-экспериментальная разработка этого направления и использование полученных результатов имеют исключительно важное значение для роста производительности труда, развития техники и технологии, совершенствования экономических механизмов.

На современном этапе развития нашего общества особенности человеческого фактора связаны прежде всего с изменением характера и условий трудовой деятельности: ростом технической оснащенности, сближением физического и умственного труда, повышением уровня образования людей. Комплексная механизация, автоматизация производственных процессов, роботизация, компьютеризация, создание гибких автоматизированных производств существенно изменяют место, роль и задачи человека в управлении технологическими процессами и комплексами современной техники.

В дальнейшем этот процесс с необходимостью будет только увеличиваться возрастающими темпами. Резервы повышения эффективности и надежности человеко-машинных систем и управляемых ими объектов за счет активизации человеческого фактора в широком смысле этого понятия фактически должны учитываться при проектировании и эксплуатации таких систем. Внедрение в практику результатов исследований в области эргономики, инженерной психологии, психологии труда и других смежных наук о человеке и его трудовой деятельности позволит существенно приблизиться к максимальному уровню использования потенциала человеческого фактора, максимальному уровню оптимизации процессов функционирования человеко-машинных комплексов, условий трудовой деятельности человека и гармоничного развития его гражданских, профессиональных, творческих и индивидуально-психологических качеств.

С другой стороны, по мере того как автоматизированные системы управления становятся все более сложными, а именно это сейчас происходит на же-

лезнодорожном транспорте, всё в большей мере подвержено опасному воздействию человеческих ошибок, цена которых в современных производствах и на транспорте резко возрастает. В большинстве случаев действия человека труда оказываются неадекватными из-за его неудовлетворительной обученности, из-за несоответствия конструктивных особенностей техники возможностям и особенностям человека, а также из-за несоответствия внешних условий рабочей среды его функциональному состоянию, условий, вынуждающих его иногда работать на пределе своих психофизиологических возможностей, в экстремальных ситуациях.

В последние годы по этим причинам произошло в стране и мире значительное число серьезных аварий и катастроф с большими человеческими жертвами. Достаточно назвать катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС, шахте Распадской, значительную катастрофу в Мексиканском заливе, аварии на авиационном и железнодорожном транспорте.

В условиях новых социально-экономических и научно-технических преобразований значительно увеличивается число точек соприкосновения каждого работника с разного рода социальными и производственными факторами, влияющими на итоговые показатели эффективности его труда, труда коллектива в целом, на мотивацию, функциональное состояние и настроение работника. Это приводит к существенным сдвигам в структуре профессиональной деятельности.

В условиях, когда профессия оператора в эргатических системах становится самой распространенной профессией, особое значение приобретает фактор ответственности человека при работе с современной техникой.

Эргономика на современном этапе объединяется со многими другими психологическими, техническими, общественными и естественными науками и меняет или трансформирует свои традиционные проблемы, задачи и подходы к их решению.

В этой связи следует отметить, что серьезные перемены в психологии, начиная с 60-х годов прошлого века, получившие в США название когнитивной революции, шли параллельно технологической революции в промышленности и на транспорте. Созданная в результате когнитивной революции модель человека — это модель сложного искушенного хотя и подверженного ошибкам информационного процессора.

Подобные модели весьма полезны для понимания того, как человек воспринимает информацию, говорит, мыслит, принимает решения, т. е. как раз тех проблем, разрешение которых необходимо для дальнейшего развития эргономики.

Еще бóльшие горизонты открывает перед эргономикой ее соединение с когнитивной наукой — междисциплинарным образованием, включающим когнитивную психологию, нейронауки, компьютерные науки, прежде всего искусственный интеллект, инженерии знаний, эпистемологию, лингвистику и антропологию.

Значимые идеи этого единения — компьютерное моделирование и представление мозга как репрезентативно-компьютерной системы несомненно будут способствовать формированию новых научных дисциплин — **когнитивной инженерии, когнитивной эргономики**.

При написании учебника мы опирались на инженерно-психологические и эргономические работы наших предшественников: Б. Ф. Ломова, В. Ф. Венды, В. П. Зинченко, В. М. Мунипова, М. А. Котика, Б. А. Душкова, В. Ф. Рубахина, Б. А. Смирнова, А. И. Губинского, А. А. Крылова и др., а также на немногочисленные, но весьма ценные работы в области железнодорожной психологии В. Н. Пушкина, Л. С. Нерсисяна, Г. А. Платонова.

В своей работе мы учитывали тенденции развития инженерной психологии и эргономики, определенные в комплексных программах Института психологии РАН, в частности комплексной целевой программы «Человек в современных и перспективных системах управления».

На современном этапе революционных преобразований в обществе, науке и образовании необходимо заново переосмыслить проблематику эргономики, инженерной психологии и других наук о трудовой деятельности человека, провести переоценку значимости отдельных фундаментальных и прикладных проблем и задач, предметов и объектов психологических исследований и разработок, подходов и методов решения отдельных фундаментальных и прикладных задач этих наук.

В учебнике нашли свое отражение собственные исследования автора и обобщение разбросанных по разным источникам материалов, отражающих различные аспекты современной инженерной психологии и эргономики. Мы стремились показать, что научно обоснованная организация сверхбольшой человеко-машинной системы, каковой является железнодорожный транспорт, невозможна без применения достижений эргономики, инженерной и когнитивной психологии, которые в реальной практике могут и должны быть использованы для повышения эффективности, надежности и безопасности работы человека. Особенно это необходимо на современном этапе, так как в связи с развитием высокоскоростного движения и повышением мощностей транспортных систем все более возрастает значение человеческого фактора в разработке и эксплуатации новых образцов техники.



## Глава 1

# Эргономика как наука

### 1.1. Объект, предмет и задачи эргономики

Человек, машина и окружающая их среда рассматриваются в эргономических исследованиях как *сложная система*, поэтому основной объект исследования эргономики — система «человек и машина». Предметом эргономики является конкретная деятельность человека (группы людей), использующего машины (технические средства). Эргономика изучает характеристики человека, машины и среды, проявляющиеся в конкретных условиях их взаимодействия, разрабатывает методы учета этих факторов при модернизации действующей и создании новой техники и технологии, изучает проблемы целесообразного распределения функций между человеком и машиной, функционирования человеко-машинных систем, определения критериев оптимизации таких систем с учетом возможностей и особенностей работающего человека (группы людей) и т. д. Ряд эргономических проблем связан с задачами производства технически сложных товаров широкого потребления, а также с проектированием рабочих мест и условий трудовой деятельности для лиц с пониженной трудоспособностью. Эргономика не только изучает, но и проектирует целесообразные варианты конкретных видов человеческой деятельности, связанных с использованием новой техники.

### 1.2. Направления эргономики

Эргономика является системно-ориентированной дисциплиной, которая в настоящий момент охватывает все аспекты человеческой деятельности. Эргономика развивает целостный подход, сочетающий рассмотрение и учет физических, когнитивных (мыслительных), социальных, организационных и других значимых факторов. Практикующий эргономист должен иметь широкую эрудицию во всех этих сферах. Эргономисты часто работают в конкретных секторах

или предметных областях, которые постоянно эволюционируют — создаются новые, а старые получают новые перспективы развития.

К концу XX века выделились три главных направления внутри эргономики, которые более глубоко изучают специфические особенности человека и характеристики его взаимодействия:

*Когнитивная эргономика* — связана с психическими процессами, такими как восприятие, память, рассуждение, моторная реакция, и их ролью во взаимодействии человека с другими элементами системы. Это направление изучает умственную нагрузку, процессы принятия решения, работу, требующую высокой квалификации, взаимодействие человека с компьютером, надежность человека, профессиональный отбор и профессиональную подготовку.

*Физическая эргономика* — рассматривает анатомические, антропометрические, физиологические и биомеханические характеристики и их влияние на физическую деятельность человека. К вопросам этого направления относятся рабочие позы, погрузочно-разгрузочные работы, монотонные движения, работа, чреватая мышечно-скелетными расстройствами, компоновка рабочего места, безопасность и здоровье.

*Организационная эргономика* — нацелена на оптимизацию социотехнических систем, включая их организационную структуру, политику и процессы. Вопросами организационной эргономики являются коммуникация, управление трудовыми ресурсами, проектирование деятельности, проектирование рабочего времени, коллективная работа, новые парадигмы организации труда, виртуальные организации, удаленная работа и управление качеством.

### 1.3. Междисциплинарные связи эргономики

Для современного этапа развития эргономики особое значение приобретает вопрос о взаимосвязи ее предмета с предметами смежных наук. Это представляется важным не только с точки зрения определения концепции эргономики как науки и выявления конструктивных путей ее формирования, но и в плане решения практических задач организации соответствующих научных исследований и эффективного использования их результатов в различных сферах деятельности.

Эргономика взаимодействует с общественными, естественными и техническими науками. Продолжающийся процесс формирования эргономики осуществляется в контакте со многими сферами научной и практической деятельности и позволяет говорить о базовых по отношению к эргономике науках;

о комплексе научных дисциплин, специально вовлекаемых в эргономические исследования, и, наконец, о собственно эргономике как сфере научной и практической деятельности.

Логика развития эргономики все теснее связывает ее с социологией и прежде всего с *социологией труда*, которой отводится ведущая роль в реализации комплексного подхода к изучению трудовой деятельности (характер и содержание труда, соотношение различных стимулов и факторов удовлетворенности трудом, социальные аспекты рациональной организации труда и т. д.). Важное место отводится в социологии труда изучению системы «человек — техника»

Эргономика нуждается в установлении прочных связей с *экономикой труда*, предметом изучения которой является труд в его исторически определенной форме, общественная и народнохозяйственная организация труда.

В настоящее время отмечается тенденция к взаимному проникновению психологии и экономической науки, обусловленная потребностями объективного развития производительных сил, изменением характера труда в ходе научно-технической революции, необходимостью улучшения отбора и подготовки кадров, растущим значением рационализации и организации труда с целью эффективного использования «человеческого фактора» и т. д. Под влиянием этих же процессов происходит сближение эргономики и экономической науки. Определение социально-экономической эффективности новой техники, ставшее актуальной проблемой экономической науки, является сферой, где перекрещиваются интересы экономики и эргономики. Без опоры на эргономические знания вряд ли возможно продуктивное решение указанной проблемы.

Эргономика не может не интересоваться изучением отдельных элементов системы, точно так же как психология, физиология и гигиена труда не могут упускать из виду связи изучаемых ими элементов системы с другими составляющими и системой в целом. Следовательно, изучение зависимостей, существующих внутри этой сложной системы, существенно не только с точки зрения эргономики, но и наук, на стыке которых она возникла. Более того, только изучение этих зависимостей, например, позволит решить поставленные перед физиологией труда теоретические и практические задачи.

Основная задача *физиологии труда* заключается в изучении закономерностей протекания физиологических процессов и особенностей их регуляции в ходе трудовой деятельности, т. е. в выявлении особенностей, характеризующих функционирование физиологических систем и всего организма в зависимости от существующих связей между указанными элементами системы.

Эргономика не отменяет и не подменяет исследований, проводимых в сфере физиологии, гигиены и психологии труда, но опирается на них, синтезирует

их достижения. Эргономика использует полученные результаты и стимулирует определение оптимальных характеристик рабочего процесса, позволяющих достигнуть высокой эффективности труда. В сферу ее интересов входит также изучение изменений функционального состояния организма человека под влиянием его рабочей деятельности, осуществляемые в рамках физиологии труда.

Важное значение для эргономики представляет установление тесных связей с *психогигиеной*, которая разрабатывает научные основы оздоровительных мероприятий в отношении психического здоровья людей с целью профилактики заболеваний. Не менее значимы связи эргономики с психоневрологией, которая позволяет вскрыть генезис и патофизиологические механизмы невротических состояний, возникающих в отдельных случаях у работающих в процессе их деятельности, в частности в стрессовых ситуациях.

Комплексное изучение условий труда, гигиеническая оценка новых технологических процессов и оборудования, психофизиологические исследования определенных видов труда, дальнейшая разработка научно обоснованных мер борьбы с монотонией, гиподинамией и гипокинезией — все это позволяет полнее использовать достижения научно-технического прогресса для оздоровления условий труда.

Эргономика не может развиваться вне связей с *анатомией человека*, наукой о форме и строении отдельных органов и организма в целом. Функциональная анатомия, которая выясняет взаимосвязи особенностей строения органов и систем человеческого организма с характером их функционирования, является одной из отраслей науки, на стыке которых возникла эргономика. Особый интерес для эргономики представляют исследования взаимосвязи и взаимной обусловленности морфологических, биохимических и психических характеристик человека. В эргономике используется и получает дальнейшее развитие совокупность методических приемов, характерных для антропометрических исследований, с помощью которых измеряют и описывают тело человека в целом и отдельные его части, а также определяют количественные характеристики их изменчивости.

Комплексный подход к изучению и проектированию деятельности человека обуславливает тесные и многоплановые отношения эргономики с *психологией*, в предмет которой деятельность входит не особой своей «частью» или «элементом», а своей особой функцией полагания субъекта в предметной действительности и ее преобразования в форму субъективности. Дело не только в том, что психологический фактор является составной частью человеческих факторов в технике. Эргономика связана со многими отраслями психологии: *психологией труда и инженерной психологией, железнодорожной, авиационной*

*и космической психологией, социальной психологией и психологией личности, военной и педагогической психологией.* Эргономикой в полной мере используются сложившиеся и формирующиеся в психологии методы исследования познавательной и исполнительской деятельности, а в отдельных случаях она развивает и создает новые.

*Инженерная психология* по времени своего возникновения в нашей стране непосредственно предшествовала появлению эргономики. Она также стремилась к комплексности учета человеческих факторов и довольно быстро переросла рамки собственно психологического анализа трудовой деятельности. В начале своего развития инженерная психология решала наиболее острые и актуальные проблемы организации деятельности операторов СЧМ со средствами автоматизации. К ним относились прежде всего проблемы сенсомоторного слежения, обнаружения и выделения полезного сигнала из шума на электронно-лучевых трубках, усовершенствования мнемосхем (органов управления) и т. д. Потом задачи инженерной психологии стали формулироваться в более общих терминах: разработка принципов проектирования информационных моделей, исследование процессов информационного поиска, информационной подготовки и принятия решений — и, наконец, еще более широко — организация информационного взаимодействия между человеком и машиной. Естественно, что на каждом этапе развития инженерно-психологических исследований их тематика трансформировалась. Откликаясь на запросы практики, инженерная психология обрала все более широкий круг задач и проблем, для решения которых недостаточно было только компетенции психолога. В коллективы, призванные решать инженерно-психологические задачи, стали привлекать антропологов, биомехаников, физиологов, гигиенистов, дизайнеров и других специалистов, что обусловило развитие соответствующих форм и методов комплексных исследований. Расширение тематики инженерно-психологического исследования и проектирования привело к тому, что инженерно-психологическая служба в промышленности естественным образом стала превращаться в эргономическую, хотя название некоторое время оставалось прежним. Своеобразной реакцией на этот процесс в отечественной инженерной психологии явились призывы к ее «психологизации». По существу, это означало осознание необходимости более строгого определения и сужения области исследования инженерной психологии в целях эффективного ее развития как отрасли психологии, ведущего раздела психологии трудовой деятельности человека. Здесь следует сразу же отметить, что любые попытки трактовать инженерную психологию как направление, связанное только с психологическими аспектами разработки и эксплуатации систем, не могут быть успешными, поскольку они противоречат системной идеологии — нельзя

эффективно разрабатывать и эксплуатировать систему, выделяя в качестве самостоятельного предмета отдельные аспекты, даже если они психологические. Это наше утверждение не противоречит, однако, подчеркиванию ведущей роли психологических средств для таких системных разработок.

К середине 60-х гг. *engineering psychology* и *ergonomics* уже сформировались как зрелые дисциплины, и никаких принципиальных изменений в их статусе с тех пор не зафиксировано. Если характеризовать эти дисциплины в целом, то можно отметить следующие основные их черты. Для обеих характерна осознанная «инженерная» направленность. Такая направленность подразумевает использование знаний из разных научных областей. Обе дисциплины в качестве своего методологического основания выделяют системный подход. Это, в свою очередь, автоматически означает принятие «концепции разработки системы». Как одна, так и другая дисциплина выдвинули идею проектирования «подсистемы персонала» в системах «человек-машина».

Эргономика совместно с *педагогикой* и *педагогической психологией* призвана содействовать процессу совершенствования политехнического образования в средней школе с тем, чтобы дать определенную профессиональную ориентацию и обеспечить соответствующую подготовку подрастающего поколения для работы с проектируемой и создаваемой новой техникой. В процессе политехнического образования можно положить начало приобщению учащихся к эргономической культуре как составной части общей, производственной, трудовой культуры.

Эргономика и *научная организация труда* оперируют различными единицами анализа трудовой деятельности, для определения которых иногда используются одинаковые термины. В эргономике принята схема единиц анализа деятельности, развиваемая в психологической науке: отдельная деятельность, действие и операция. Деятельность направляется мотивом, за которым всегда стоит потребность субъекта. Мотив не только побуждает деятельность и создает ее направленность, но, что очень важно, придает деятельности (и всем реализующим ее процессам) определенный личностный смысл (можно сказать также — субъективную ценность). В научной организации труда единицами анализа трудового процесса являются операции, приемы, действия, движения.

Эргономика и НОТ представляют две самостоятельные, но органически взаимосвязанные сферы научной и практической деятельности. Эргономика вносит все возрастающий вклад в дело социалистической научной организации труда. Процесс дальнейшего взаимодействия и взаиморазвития эргономики и научной организации труда просматривается в трех основных направлениях.

Эргономика играет важную и все возрастающую роль в обеспечении *безопасных условий труда*. Под *охраной труда* понимается система законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Учет требований эргономики — необходимое условие создания удобной, надежной и безопасной техники. Опираясь на работы в области безопасности труда, эргономика в определенном отношении дополняет и развивает их. Становится общепризнанным, что число несчастных случаев, вызванных в конечном итоге опасными действиями, значительно больше, чем несчастных случаев, вызванных опасными условиями. В этой связи отмечается, что эргономика открывает новые возможности для определения скрытых причин небезопасных действий, могущих привести к несчастным случаям.

Проблема критериев оценки тяжести и напряженности труда, решение которой возможно лишь при системном подходе и опоре на достижения гигиены, физиологии, психологии труда, экономики труда и других дисциплин, в наибольшей степени отражает потребность в органической взаимосвязи охраны труда и эргономики. Эргономический подход является необходимым для изучения тяжести и напряженности труда, которые проявляются в показателях функционального состояния организма, формирующихся под влиянием физической, психической или нервно-эмоциональной нагрузки и факторов производственной среды.

Эргономика тесно связана с техническими и математическими науками: кибернетикой, системотехникой, общей теорией систем, исследованием операций и другими дисциплинами и направлениями современных научных исследований.

Решая практические задачи, эргономика должна опираться на всю систему знаний о человеке. По мере своего формирования эргономика оказывает все возрастающее влияние на развитие этой системы знаний.

## 1.4. Когнитивная наука и эргономика

Результатом взаимопроникающего развития перечисленных выше, а также ряда других дисциплин стало формирование единого междисциплинарного подхода — когнитивной науки, в рамках которого появилась возможность широкого обмена идеями, моделями, другими научными результатами исследователей, работающих разными методами над сходной проблематикой (либо

использующих сходные методы в разных предметных контекстах). В современном виде когнитивная наука — это междисциплинарный подход, объединяющий исследователей познания, главным фокусом внимания которых является проблематика закономерностей приобретения, преобразования, представления (репрезентирования), хранения воспроизведения информации. Когнитивная наука представляет собой сегодня целое семейство дисциплин, объединенных единой проблематикой и сходными методологическими принципами. Ядро этой науки составляют когнитивная психология и компьютерные дисциплины (включая искусственный интеллект, теорию информации, теорию принятия решений и теоретическую информатику). К ним примыкают нейрофизиология, эпистемология, лингвистика и антропология (рис. 1.1).

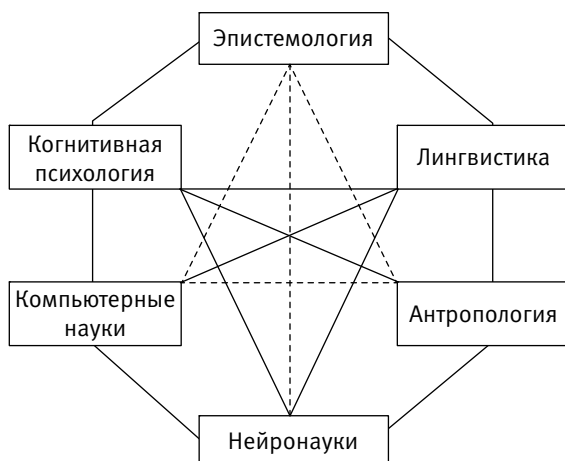


Рис. 1.1. Схема взаимодействия научных дисциплин, составляющих ядро когнитивной науки

На этой схеме сильные связи внутри когнитивной науки изображены сплошными линиями, а слабые — пунктирными. Кратко охарактеризуем некоторые из этих научных дисциплин, проблематика которых мало знакома студентам, особенно технических учебных заведений.

Специальной наукой о человеке как особом биологическом виде является антропология. В структуру современной антропологии входят три основных раздела: морфология человека (изучение индивидуальной изменчивости физического типа, возрастных стадий — от ранних стадий зародышевого развития до старости включительно, полового диморфизма, изменения физического развития человека под влиянием различных условий жизни и деятельности), учение об антропогенезе (об изменении природы ближайшего предка человека



и самого человека в течение четвертичного периода), состоящее из приматоведения, эволюционной анатомии человека, палеоантропологии (изучающей ископаемые формы человека), расоведение.

Антропология занимает центральное место среди наук, изучающих происхождение и развитие человека как самостоятельного биологического вида. Основной вывод, который позволяет сделать современное состояние антропологии в отношении развития человека, может быть сформулирован следующим образом: на каком-то этапе биологического развития произошло выделение человека из животного мира (пограничный этап «антропогенеза-социогенеза»), и в эволюции человека прекратилось действие естественного отбора, основанного на биологической целесообразности и выживании наиболее приспособленных к природной среде особей и видов. С переходом человека из животного мира в социальный, с его превращением в биосоциальное существо законы естественного отбора сменились качественно иными законами развития.

Нейронаука представляет синтез знаний различных научных дисциплин, прежде всего нейробиологии, прикладной математики, физики, медицины и психологии (рис. 1.2).

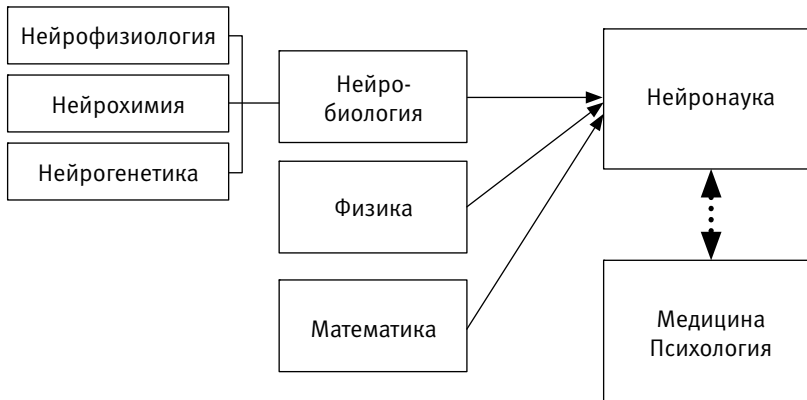


Рис. 1.2. Взаимосвязь научных дисциплин, образующих нейронауку

Нейронаука становится все более важной для изучающих психологию, так как она позволяет вплотную приблизиться к разгадкам тайн человеческого мозга. На основе нейронауки и когнитивной психологии возникла новая область науки — нейрокогнитология. Иногда ее называют когнитивной нейронаукой. Нейрокогнитология развивается на стыке нейронауки и когнитивной психологии, особенно теорий памяти, ощущения и восприятия, решения задач, языковой обработки, моторных и когнитивных процессов.

Лингвистика (языкознáние, языковéдение) — наука о естественном человеческом языке вообще и обо всех языках мира как индивидуальных его представителях. В широком смысле слова, лингвистика подразделяется на научную и практическую. Чаще всего под лингвистикой подразумевается именно научная лингвистика. Она же является частью семиотики как науки о знаках.

Эпистемология (греч. *episteme* — знание, *logos* — учение) — философско-методологическая дисциплина, в которой исследуется знание как таковое, его строение, структура, функционирование и развитие. Хотя традиционно отождествляется с теорией познания, однако в неклассической философии может быть зафиксирована тенденция к различению эпистемологии и гносеологии, которое основано на исходных категориальных оппозициях. Если гносеология разворачивает свои представления вокруг оппозиции субъект-объект, то для эпистемологии базовой является оппозиция объект-знание. Особо следует отметить, что эти связи привели к формированию новых научных дисциплин, таких как психолингвистика, когнитивная лингвистика, нейрофилософия.

Психолингвистика, как ее трактует современная наука, — область лингвистики, изучающей язык прежде всего как феномен психики. С точки зрения психолингвистики язык существует в той мере, в какой существует внутренний мир говорящего и слушающего, пишущего и читающего. Психолингвистику не следует рассматривать как отчасти лингвистику и отчасти психологию. Это комплексная наука, которая относится к дисциплинам лингвистическим, поскольку изучает язык, и к дисциплинам психологическим, поскольку изучает его в определенном аспекте — как психический феномен. А поскольку язык — это знаковая система, обслуживающая социум, то психолингвистика входит и в круг дисциплин, изучающих социальные коммуникации, в том числе оформление и передачу знаний.

Когнитивная лингвистика — направление в языкознании, которое исследует проблемы соотношения языка и сознания, роль языка в концептуализации и категоризации мира, в познавательных процессах и обобщении человеческого опыта, связь отдельных когнитивных способностей человека с языком и формы их взаимодействия.

## 1.5. Историческое развитие эргономики

Термин «эргономика» (греч. *ergon* — работа + *nomos* — закон), предложенный еще в 1857 польским естествоиспытателем В. Ястшембовским, получил широкое распространение после 1949, когда группа английских ученых

во главе с К. Мареллом организовала Эргономическое исследовательское общество, с которым обычно связывают формирование эргономики как самостоятельной научной дисциплины. В 20-е годы в СССР предлагался термин «Эргология», но в настоящее время принят английский термин. В США данная дисциплина называется «Исследование человеческих факторов», а в ФРГ — «Антропотехника».

Первые исследования, с которыми непосредственно связывают зарождение эргономики, относят к 20-м гг. XX в., когда в Великобритании, США, Японии и некоторых других странах физиологами, психологами, врачами и инженерами предпринимались попытки комплексного изучения человека в процессе трудовой деятельности с целью максимального использования его физических и психологических возможностей и дальнейшей интенсификации труда. Первые шаги в научном изучении трудовой деятельности обычно связывают с именем Ф. Тейлора и относят к периоду образования крупного капиталистического машинного производства. Создавая одну из первых научно обоснованных систем эксплуатации наемного труда, Ф. Тейлор проводит экспериментальные исследования простого машинного труда, результаты которых используются при его рационализации. Руководствуясь при проведении этих исследований принципами технологического детерминизма, в соответствии с которыми рабочий рассматривается в качестве одного из элементов технологической системы производства, Ф. Тейлор обосновывает необходимость разделения трудовых функций работающих на элементарные операции и стандартизированные движения. Продолжая работы, начатые Ф. Тейлором, Ф. Гилбрет выдвигает идею универсальных микродвижений (терблигов), из комбинации которых в различных сочетаниях и в различной последовательности должна состоять любая операция. Трудовые функции предельно упрощаются на заводах Г. Форда. В рамках системы Ф. Тейлора зарождается и практически реализуется в капиталистическом производстве концепция «инженерного проектирования» методов работы. Важную роль в формировании этой концепции сыграли труды Ф. Гилбрета, где обоснована необходимость перехода от изучения метода работы после ее начала к его изучению до начала работы, т. е. к проектированию процесса. В работах Ф. Тейлора содержится мысль о том, что максимальная подгонка человека к машине предполагает и соответствующее ее проектирование. По технико-экономическим причинам принцип, согласно которому орудия труда должны соответствовать физической организации работника, был реализован на практике Ф. Тейлором лишь на примере конструирования простейших орудий труда — лопат различных размеров и форм.

Определение рациональных перерывов в работе как способ борьбы с утомлением — один из принципов, выявленный Ф. Тейлором чисто эмпирически. Однако принцип этот не ограждал систему Ф. Тейлора от проблемы борьбы с утомлением, которую капиталистическая система организации труда обостряла до предела. В конце XIX и начале XX в. в Германии, Англии, США и других странах организуются специальные гигиенические и физиологические лаборатории, кафедры и институты, сотрудники которых изучают влияние на организм человека трудовых процессов и окружающей его производственной среды.

Интерес к системам «человек-машина» возник в середине XX в.; он обусловлен тем, что в качестве объектов технического проектирования и конструирования стали все чаще выступать различного рода сложные системы управления производством, транспортом, связью, космическими полетами и т. п., эффективность функционирования которых во многом определяется деятельностью включаемого в них в качестве ведущего звена человека. Сочетание способностей человека и возможностей машины (или совокупности технических средств) существенно повышает эффективность управления. Несмотря на совместное выполнение функций управления человеком и машиной, каждая из двух составляющих этой сложной системы подчиняется в работе собственным, свойственным только ей закономерностям, причем эффективность функционирования системы в целом определяется тем, в какой степени при ее создании были выявлены и учтены присущие человеку и машине особенности, в том числе ограничения и потенциальные возможности.

С середины 50-х гг. эргономика интенсивно развивается во многих странах мира: создана Международная эргономическая ассоциация (1961), в которой представлено свыше 30 стран; раз в 3 года проводятся международные конгрессы по эргономике; в Международной организации по стандартизации образован технический комитет «Эргономика». В Великобритании с 1957 издается журнал «Ergonomics», ставший официальным органом Международной эргономической ассоциации, а также журналы «Applied Ergonomics» (с 1969) и «Ergonomics Abstracts» (с 1969); журналы эргономического профиля издаются также в Болгарии, Венгрии, США, Франции. В Великобритании, Канаде, Польше, Румынии, США, Франции, ФРГ и Японии разрабатываются учебные программы и ведется подготовка специалистов в области эргономики в университетах и других высших учебных заведениях.

В нашей стране развитие эргономики связано с возникновением и становлением в 20–30-х гг. XX в. научной организации труда (А. К. Гастев, П. М. Керженцев и др.). На основе комплексного изучения отдельных видов трудовой деятельности человека В. М. Бехтерев и В. Н. Мясищев разработали первую содер-

жательную концепцию эргономики, которую тогда называли эргологией или эргонологией, и сформулировали положение об основных задачах эргономики. Согласно этой концепции, человек в производстве должен рассматриваться не только как работник, но и как творческая личность. Поэтому задачи эргономики определяются не только необходимостью повышения производительности труда и улучшения качества промышленной продукции, но прежде всего общественной потребностью в сохранении здоровья и развитии личности работника. С 60-х гг. в СССР ведутся исследования по всем основным направлениям эргономики; разработка эргономической проблематики и решение ее практических задач осуществляются во многих организациях и производственных предприятиях страны. Разработан комплекс стандартов общих эргономических требований к системам «человек — машина». Издается ежемесячный информационный бюллетень «Техническая эстетика», в котором освещаются вопросы теории, истории и современной практики эргономики. Всесоюзный НИИ технической эстетики издает научные труды и методические рекомендации по эргономике. В 1974 странами-членами СЭВ подписано соглашение о научно-техническом сотрудничестве в области эргономики.

Размах эргономических исследований и разработок в нашей стране, их направленность и профессиональный уровень впервые в полной мере были представлены на первой и второй всесоюзных конференциях по эргономике (Москва, 1985; 1988). В их работе приняли участие соответственно 500 и 650 ученых и специалистов, на пленарных и секционных заседаниях было заслушано 57 и 90 докладов, 72 и 130 сообщений. Участниками конференций были работники 50 отраслей промышленности. Эргономика СССР и России развивается в русле международного эргономического движения и признана мировым профессиональным сообществом. Ученые и специалисты нашей страны плодотворно сотрудничают с Международной эргономической ассоциацией (МЭА), техническим комитетом № 159 «Эргономика» Международной организации по стандартизации, Международным советом организаций по дизайну и многими другими национальными организациями по эргономике и дизайну. Ученые нашей страны являются членами редколлегий международных журналов: «Прикладная эргономика» (Англия), «Эргономика» (Англия), «Человеческие факторы в промышленном производстве» (США), «Взаимодействие человека и ЭВМ» (США), «Профессиональная безопасность и эргономика» (Польша), «Эргономика» (Италия). В этих и других журналах публикуются статьи российских эргономистов. Эргономисты СССР и России избирались в состав Международной комиссии по человеческим аспектам компьютеризации и принимали участие в работе Консультативных советов по подготовке фундаменталь-

ных трудов «Руководство по человеческим факторам» (первое издание, 1987; США) и «Руководство по человеческим факторам и эргономике» (второе издание, 1997; США), а также являются авторами одной из частей раздела «Эргономика» международной «Энциклопедии по безопасности и гигиене труда» (Женева, 1997). Выделение эргономики в качестве самостоятельного раздела эргономики обусловлено большой спецификой деятельности авиационных специалистов по управлению ЛА в полете, связанной с быстротечной динамикой ЛА в трехмерном пространстве, воздействием на членов экипажа перегрузок, перепадов воздушного давления и других факторов полета, с высоким уровнем ответственности и риска всех авиационных специалистов.

В заключение нашего краткого исторического экскурса остановимся на развитии транспортной эргономики.

Транспортная эргономика возникла на базе железнодорожной и авиационной медицины, психологии и ряда технических дисциплин в 60–70-х гг. в связи с усложнением железнодорожной и авиационной техники и расширением круга решаемых с ее помощью народно-хозяйственных и военных задач. В последующие годы транспортная эргономика внесла существенный вклад в прогресс транспортной техники и управления движением. Создана система эргономического обеспечения разработки и эксплуатации всех видов транспортной техники, предназначенная для реализации достижений как транспортной, так и общей эргономики в практике опытно-конструкторских, производственных, испытательных, экспертных и эксплуатационных работ.

В процессе эргономического обеспечения решаются вопросы: распределения функций между человеком и технико-информационными устройствами, а также между членами экипажа (расчета); выбора состава, вида и других характеристик перерабатываемой человеком информации, средств индикации и сигнализации, органов управления; компоновки рабочих мест; разработки способов и средств обеспечения жизнедеятельности членов экипажа, определения критериев, методов и средств профессионального отбора, обучения, адаптации и тренировки специалистов, организации труда; разработки приемов поддержания их работоспособности, положительной трудовой мотивации, сохранения здоровья.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение эргономики как науки.
2. Что является предметом эргономики?
3. Что такое когнитивная наука?
4. Назовите научные дисциплины, составляющие ядро когнитивной науки.
5. Охарактеризуйте междисциплинарные связи эргономики.
6. Назовите направления эргономики.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Андерсен Д. Когнитивная психология / Д. Андерсен. — М., 2002.
2. Воронин В. М. Психологические проблемы речевого общения в системе «Человек — ЭВМ» / В. М. Воронин, Е. Г. Санникова, З. А. Наседкина. — 2-е изд. — Екатеринбург : УрГУПС, 2012. — 164 с.
3. Воронин В. М. Психология и педагогика / В. М. Воронин, З. А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2014. — 512 с.
4. Лекторский В. А. Философия, искусственный интеллект и когнитивная наука / В. А. Лекторский // Искусственный интеллект. — М., 2006. — С. 16.
5. Солсо Р. Когнитивная психология / Р. Солсо. — М., 2006.
6. Boden M. The Philosophy of Cognitive Scienc. In: Philosophy at / M. Boden.
7. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский ; отв. ред. А. А. Ярошевский. — 2-е изд. — М. : Наука, 1987.
8. Фресс П. Экспериментальная психология : сб. ст. : пер. с фр. / П. Фресс, Ж. Пиаже. — Вып. 6. — М. : Прогресс, 1978.

## Глава 2

# Методы эргономики

Любая наука имеет не только объект и предмет исследования, но и, что не менее важно, свои методы. Методы научных исследований — это приемы и средства, с помощью которых получают сведения, необходимые для вынесения практических рекомендаций и построения научных теорий.

Эргономика опирается на комплекс наук, предметом исследования которых является человек, и развивается в тесном взаимодействии с инженерной психологией, кибернетикой, системотехникой, исследованием операций, технической эстетикой, а также с научной организацией труда и охраной труда. Эргономика органически связана с художественным конструированием, ее проблемы разрабатываются коллективами специалистов, в состав которых, в зависимости от характера решаемых задач, могут входить психологи, физиологи, гигиенисты, антропологи, социологи, экономисты, математики, дизайнеры, архитекторы, инженеры. Методологическую базу эргономики составляет системный подход. Он позволяет использовать в эргономическом исследовании в том или ином сочетании методы различных наук, на стыке которых возникают и решаются качественно новые проблемы изучения систем «человек и машина».

### 2.1. Методы психологических исследований

Развитие любой науки зависит от того, насколько используемые методы совершенны, насколько они валидны и надежны. Валидность метода показывает, в какой мере он измеряет то качество (свойство, способность, характеристику и т. п.), для оценки которого он предназначен. Надежность метода определяется степенью воспроизводимости и согласованности результатов, полученных при его применении. Если метод оценки надежен, он должен давать воспроизводимые и согласованные результаты. Если же метод дает разные результаты при применении его в разных случаях или при выполнении подсче-



тов разными исследователями, значит, он ненадежен. Простая аналогия — резиновая линейка. Если неизвестно, насколько она растягивается при каждом измерении, то результаты будут ненадежны, независимо от того, насколько аккуратно проводилось каждое измерение.

Эти положения имеют общенаучное значение, и они справедливы и по отношению к психологии. Теперь, когда мы уже немного представляем себе психологическую тематику и принятые подходы к ее изучению, можно перейти к рассмотрению стратегий психологического исследования. В общем, научное исследование включает два этапа: 1) выдвижение научной гипотезы и 2) проверка этой гипотезы. Рассмотрим каждый из них.

### *Выдвижение гипотез*

Первый шаг любого исследовательского проекта — это постановка проблемы, всегда сопровождаемая выдвижением одной или нескольких гипотез — утверждений, которые должны быть подвергнуты проверке, чтобы разрешить поставленную проблему.

Например, если нас интересует, оказывает ли метод проблемного изложения материала влияние на объем его воспроизведения студентами, мы могли бы выдвинуть исследовательскую гипотезу, что при обучении проблемным методом студенты способны к воспроизведению большего объема материала, чем при обучении традиционным методом. Откуда исследователь возьмет такую гипотезу? Плодотворные гипотезы часто получаются: а) из проницательного наблюдения за естественно протекающим процессом обучения; б) изучения соответствующей научной литературы, в которой можно прочесть об экспериментах, показывающих, какого рода признаки помогают увеличивать воспроизводимый материал.

В других случаях наиболее важным источником научных гипотез часто становится научная теория — совокупность связанных между собой утверждений, касающихся конкретного феномена. Так, например, одна из психологических теорий представляет память в виде структуры «ящичков» в голове, и на основании этой теории исследователи выдвинули проверяемую гипотезу, согласно которой главную роль при переводе информации из кратковременной памяти в долговременную играет повторение. Конкурирующая с ней теория (теория уровневой обработки) отрицает структурный подход к организации памяти и порождает конкурирующий набор гипотез, которые также могут быть проверены. Проверка гипотез, формулируемых на основе конкурирующих между собою теорий, является одним из основных путей прогресса научного знания.

Слово «научный» означает, что исследовательские методы сбора данных являются: а) беспристрастными, в том смысле, что они не отдают предпочтения одной гипотезе перед другими; б) надежными, то есть они позволяют другим квалифицированным специалистам повторить эти наблюдения и получить те же самые результаты. Различные методы, которые мы будем рассматривать далее, обладают этими двумя характеристиками. Некоторые из методов используются чаще в одних подходах, чем в других, но все эти методы могут применяться в любых подходах. Пожалуй, исключением выступают представители феноменологического подхода, которые принципиально отвергают научные методы. В настоящее время психологи все чаще объединяют свои усилия с представителями других научных дисциплин, в особенности с биологами, при изучении психических феноменов.

### *Метод наблюдений*

Различают две разновидности этого метода: непосредственно наблюдение и косвенное наблюдение, или метод опроса.

*Непосредственно наблюдение.* На раннем этапе исследования лабораторные эксперименты и корреляционный метод могут оказаться преждевременными, и большего можно достичь, наблюдая за естественным ходом интересующего вас явления. Более того, многие поведенческие акты можно изучить только в условиях наблюдения за естественным процессом, не разрешающим вмешательства экспериментатора. Внимательное наблюдение за поведением человека служит отправной точкой для очень многих психологических исследований. Например, наблюдение за поведением оператора позволяет многое узнать о его деятельности, и позднее это поможет в лабораторном изучении. Видеозапись рабочей позы и лица оператора, показаний наблюдаемых им приборов и индикаторов, направлений взгляда и управляющих движений — все это позволяет детально рассмотреть паттерны движений, совершаемых в процессе его деятельности, и определить, что надо улучшить в организации информационного пространства. Исследователей следует специально подготовить к проведению наблюдений за естественно протекающим поведением, с тем чтобы они точно записывали наблюдаемое и избегали проекции собственных установок на содержание своих отчетов.

Для наблюдений зачастую не требуется специализированная лаборатория. Например, такой лабораторией может служить диспетчерский зал управления железнодорожным или воздушным движением, когда целью экспериментатора является хронометраж действий операторов по управлению движением.

*Метод опроса.* Некоторые проблемы, которые трудно изучать путем прямого наблюдения, можно исследовать путем косвенного наблюдения, то есть с помощью опросников и интервью. Вместо того чтобы наблюдать, практикуют ли люди тот или иной вид поведения, исследователь просто спрашивает их об этом. Но так как людям свойственно выставлять себя в более благоприятном свете, этот метод более подвержен влиянию пристрастий, чем непосредственное наблюдение. Тем не менее метод интервью дал немало важных результатов. Опросы широко использовались также для выяснения политических взглядов людей, предпочтения ими товаров, потребности в медицинском уходе и т. п. Всем хорошо знакомы такие виды опроса, как социологический опрос и перепись населения. Для адекватного проведения опроса надо, чтобы опросник, прошедший тщательное предварительное тестирование, предъявлялся группе людей, отобранных так, чтобы они адекватно представляли изучаемую группу населения. В целом метод опроса является обычно вспомогательным при психологическом изучении деятельности. Он может быть использован в тех условиях, когда невозможно или затруднительно проведение непосредственного наблюдения или эксперимента.

*Биографический метод.* Еще один способ косвенно наблюдать за человеком — это познакомиться с его биографией. Сегодня исследователь чаще спрашивает людей о том, что они делали в прошлом, чем наблюдает интересующий его вид поведения. Приведем один пример, показывающий, как важно изучать возможное поведение человека на основании его записей в социальной сети. В 2013 году в Испании на железнодорожной линии высокоскоростного движения произошла чудовищная катастрофа, унесшая несколько десятков жизней. Виновником этой катастрофы был машинист электровоза, который при прохождении крутого виража вел состав со скоростью в два с лишним раза большей разрешенной. Причем делал он это умышленно, несмотря на неоднократные предупреждения автоматического советчика. Когда произвели выяснение причин такого поведения машиниста, то выяснилось, что на своей странице в социальной сети он неоднократно высказывался о своей страсти к быстрой, агрессивной манере вождения, о любви к рискованной езде. Вовремя изученная история этого индивида могла бы послужить важным источником данных для его психологического портрета и в конечном итоге позволила бы предотвратить катастрофу.

Чаще всего историю индивида составляют по реконструкции биографии человека на основе воспроизведенных им событий и записей.

Реконструкция необходима потому, что история конкретного человека, как правило, не вызывает интереса, пока у него не начались какие-нибудь проблемы, и тогда знание о его прошлом становится важным, чтобы понять его

поведение в настоящем. По сравнению с результатами непосредственного наблюдения ретроспективный метод может давать искаженное представление о событиях или упускать что-либо из виду, но зачастую он является единственной возможностью.

*Экспериментальный метод.* При всем огромном значении отмеченных выше методов, основным и наиболее эффективным методом психологического исследования является лабораторный эксперимент. Экспериментальный метод отличается от других методов научного исследования возможностью осуществлять точный контроль за переменными, которые могут быть независимыми и зависимыми.

Независимая переменная — это та, которой экспериментатор манипулирует, а зависимая — это та, которую он наблюдает. Зависимая переменная почти неизбежно оказывается некоторой мерой поведения испытуемого. Исследователь тщательно контролирует условия, как правило, в специально оборудованной лаборатории и проводит измерения с целью выяснения взаимосвязи между этими переменными, которые могут принимать различные значения. Но многие эксперименты, особенно в области образования, могут проводиться и вне специальных лабораторий — например, эксперимент, направленный на выяснение эффекта проблемного обучения на объем воспроизводимого студентами материала. Разберем подробно технологию проведения экспериментального исследования на примере.

Задачу и исследовательскую гипотезу мы сформулировали выше. Исходные условия не вызывают особых замочков — изложение материала проблемным методом — возможная причина, то есть независимая переменная. Объем воспроизведенного студентами материала — следствие, то есть зависимая переменная.

Далее, чтобы определить, зависит ли объем воспроизведенного студентами материала от метода обучения, экспериментатор должен организовать две группы, одна из которых будет обучаться традиционным методом, а другая проблемным методом. Первая группа будет называться *контрольной*, вторая — *экспериментальной*. Эффект проблемного метода исследуется с помощью сравнения его с эффектом традиционного метода, но для достоверности этой процедуры необходимо осуществить *контроль посторонних переменных*.

Посторонние эффекты могут осуществлять такие переменные, как «возраст», «пол», «курс обучения» и другие. Поэтому необходимо выровнять обе группы по полу, возрасту, курсу обучения для минимизации эффектов посторонних переменных на изучаемую зависимую переменную. Осуществить такое выравнивание можно посредством случайного распределения участников исследования между группами по этим посторонним переменным.

Следующим важным моментом в проведении экспериментального исследования является *манипуляция* независимой переменной, которая заключается в создании разных условий эффектов или уровней этой независимой переменной для участников исследования. В нашем примере манипуляция этой переменной заключается в выделении двух уровней: проблемного и традиционного методов обучения. Наконец, последний момент в экспериментальном исследовании носит название *наблюдения*. В ситуации эксперимента предметом наблюдения являются эффекты манипуляции независимой переменной, которые обнаруживаются в изменениях зависимой переменной.

В нашем примере в качестве зависимой переменной выступает объем воспроизведенного материала и по нему сравнивают эффекты проблемного и традиционного методов между собой. Если показатель зависимой переменной выше при проблемном методе, чем при традиционном методе, значит, наша гипотеза подтвердилась. Если одна переменная зависит от другой переменной, говорят, что одна из них является функцией другой. Так, в описанном эксперименте можно сказать, что объем воспроизведенного студентами материала является функцией от метода обучения.

Экспериментальный метод — это вопрос логики, а не места проведения. И все же эксперименты, как правило, проводятся в специальных лабораториях, главным образом потому, что для контроля за предъявлением стимулов и точного измерения поведения обычно требуется точная техника. После того как мы познакомились с технологией экспериментального метода, необходимо усвоить основную терминологию экспериментальных исследований.

*Гипотеза* — утверждение, подлежащее проверке.

*Переменная* — фактор, участвующий в исследовании, который может принимать различные значения.

*Независимая переменная* — переменная, не зависящая от действий участников эксперимента.

*Зависимая переменная* — переменная, значения которой в конечном счете зависят от значений независимой переменной.

*Экспериментальная группа* — группа, в которой присутствует условие, являющееся предметом изучения.

*Контрольная группа* — группа, в которой отсутствует условие, являющееся предметом изучения.

*Измерение* — система, в соответствии с которой переменным приписываются численные значения.

*Планирование эксперимента*. Под «планированием эксперимента» имеется в виду процедура сбора данных. Наиболее простые экспериментальные

проекты предусматривают для исследователя возможность манипулировать независимой переменной и изучать ее влияние на зависимую переменную. Если все, кроме независимой переменной, сохранять неизменным, то в результате эксперимента можно будет сделать такого рода утверждение: «При прочих равных условиях  $Y$  увеличивается с увеличением  $X$ ». Или наоборот: «При увеличении  $X$   $Y$  уменьшается». Эти утверждения можно проиллюстрировать следующими примерами из нашей экспериментальной практики: а) «при увеличении степени стробирования (отсечения) речевого сигнала с увеличением числа слогов ( $X$ ) в слове восприятие слов ( $Y$ ) улучшается; б) «чем больше испытуемые упражняются в восприятии синтезированной речи, тем получается более стойкий долговременный эффект». Иногда эксперимент сосредоточен только на влиянии определенного условия при его наличии или отсутствии (независимая переменная, имеющая два возможных значения: наличие и отсутствие). Для построения эксперимента требуется экспериментальная группа, в которой данное условие присутствует, и контрольная группа, в которой это условие отсутствует. В качестве иллюстрации рассмотрим еще один эксперимент из нашей практики. В эксперименте исследовалось, оказывает ли влияние дополнительное включение слухового анализатора на запоминание информации? Экспериментальной группе предъявляют информацию по обоим каналам — зрительному и слуховому, — а контрольной группе эту же информацию — только по зрительному каналу. Если в экспериментальной группе произведут больше информации, чем в контрольной, то это улучшенное воспроизведение можно отнести на счет ее подачи по слуховому каналу.

Для некоторых проблем исследование с одной независимой переменной может оказаться слишком ограниченным. Иногда требуется изучить влияние, оказываемое несколькими взаимодействующими независимыми переменными на одну или даже несколько зависимых переменных. Исследование, в котором одновременно манипулируют несколькими переменными, называют многофакторным экспериментом; оно довольно часто используется в психологии.

*Измерения.* При проведении эксперимента психологам часто приходится производить измерения. Различают два типа измерений: *физические* и *психологические*. С физическими измерениями психологи сталкиваются при исследовании особенностей психомоторики — например, при определении времени латентного (скрытого) периода простой сенсорно-моторной реакции. Физические измерения широко применяются в различных психофизических исследованиях. В тех случаях, когда физические измерения применить нельзя, используют психологические измерения. С этой целью полученные результаты приходится шкалировать, размещая в определенном порядке.

Так, при субъективном оценивании качества синтезированной речи в наших экспериментах использовались следующие шкалы:

Шкала 1 «общее впечатление». Шкала 2 «усилия по слушанию». Шкала 3 «проблемы понимания». Шкала 4 «артикуляция». Шкала 5. «произнесение». Шкала 6 «нормы разговора». Шкала 7 «приятность голоса». Каждая шкала состояла из пяти градаций. Например, шкала «общее впечатление» имела градации: «превосходно», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «плохо».

С целью более точного сообщения результата переменным присваиваются баллы. Так, ответ «превосходно» соответствовал 5 баллам, а ответ «плохо» –1 баллу.

Измерения в экспериментах обычно проводятся не на одном испытуемом, а на выборке, состоящей из многих испытуемых. Результатом такого исследования, соответственно, будут данные в виде набора чисел, которые затем надо обобщить и интерпретировать. Для решения этой задачи нужно использовать статистику — дисциплину, имеющую дело с выборками данных, полученных от индивидов из той или иной группы населения, а затем на основе этой выборки сделать заключение, касающееся всей группы. Статистике принадлежит важная роль не только в экспериментальных исследованиях, но и в других методах. Наиболее простая и часто применяемая статистическая мера — это среднее, являющееся просто рабочим термином для среднего арифметического. Оно равно сумме всех показателей, поделенной на количество этих показателей. В исследованиях, где участвуют экспериментальная и контрольная группы, сравниваются два средних: среднее для испытуемых из экспериментальной группы и среднее для испытуемых контрольной группы. Исследователей интересует конечно же разница этих двух средних величин, насколько она достоверна. Другими словами, требуется показать, что наблюдаемое различие действительно возникло под влиянием независимой переменной, а не по случайному стечению обстоятельств или из-за нескольких резких отклонений.

С такими проблемами статистика справляется при помощи тестов на значимость различия. Если психолог говорит, что различие между экспериментальной и контрольной группами является «статистически значимым», то это означает, что полученные данные прошли статистический тест и наблюдаемое различие заслуживает доверия.

*Метод корреляций.* Не со всеми проблемами можно справиться экспериментальным методом. Существует множество ситуаций, когда исследователь не может контролировать, какие испытуемые попадают в те или иные условия. Например, если надо проверить гипотезу, что слепые обладают большей

чувствительностью к изменениям текстуры, чем нормально видящие, то не можем же мы собрать группу нормально видящих испытуемых и половину из них лишить зрения! На самом деле нам придется отобрать две группы, одна из которых группа слепых, а другая — группа нормально видящих, и проверить, различаются ли они также по тактильной (кожной) чувствительности. С этой целью можно использовать метод корреляций, чтобы определить, связана ли некоторая переменная, которую мы не можем контролировать, с другой интересующей нас переменной, или, иначе говоря, коррелируют ли они между собой.

Имеется несколько разновидностей этого метода: линейный, ранговый, парный и множественный. Линейный корреляционный анализ позволяет устанавливать прямые связи между переменными величинами по их абсолютным значениям. Эти связи графически выражаются прямой линией, отсюда название «линейный». Ранговая корреляция определяет зависимость не между абсолютными значениями переменных, а между порядковыми местами или рангами, занимаемыми ими в упорядоченном по величине ряду. Парный корреляционный анализ включает изучение корреляционных зависимостей только между парами переменных, а множественный, или многомерный, — между многими переменными одновременно. Распространенной формой многомерного корреляционного анализа является факторный анализ.

В вышеприведенном примере у переменной тактильной чувствительности есть только два значения, отражающих соответственно чувствительность нормально видящих и слепых. Чаще случается, что каждая из переменных может принимать много значений, и тогда надо определить, насколько величины одной и другой переменной коррелируют между собой. Определить это может статистический параметр, называемый коэффициентом корреляции и обозначаемый буквой  $r_{xy}$ . Коэффициент корреляции позволяет оценить, насколько связаны две переменные, и выражается числом от  $-1$  до  $+1$ .

Ноль означает отсутствие связи; полная связь выражается единицей ( $+1$ , если отношение положительное, и  $-1$ , если оно отрицательное).

По мере увеличения  $r_{xy}$  от 0 до 1 сила связи возрастает.

Суть коэффициента корреляции можно пояснить на примере графического представления данных гипотетического исследования.

На рис. 2.1 в виде множества точек представлены различные виды зависимостей между двумя переменными  $X$  и  $Y$  (различные поля корреляции между ними). На фрагменте А рис. 2.1 точки случайным образом разбросаны по координатной плоскости. Отсюда по величине  $X$  нельзя сделать какие-либо определенные выводы о величине  $Y$ . Если в данном случае подсчитать коэффициент корреляции  $r_{xy}$ , то он будет равен 0, что свидетельствует об отсутствии



достоверной связи между  $X$  и  $Y$  (она может отсутствовать и тогда, когда коэффициент корреляции не равен 0, но близок к нему по величине). На фрагменте Б рис. 2.1 все точки лежат на одной прямой, и каждому отдельному значению переменной  $X$  можно поставить в соответствие одно и только одно значение переменной  $Y$ , причем чем больше  $X$ , тем больше  $Y$ . Такая связь между переменными  $X$  и  $Y$  называется прямой и коэффициент корреляции  $r_{xy}$  будет равен +1. Отметим, что на практике такие случаи не встречаются; коэффициент корреляции почти никогда не достигает единицы. На фрагменте В рис. 2.1 коэффициент корреляции  $r_{xy}$  также будет равен единице, но с отрицательным знаком. Это означает обратную зависимость между переменными  $X$  и  $Y$ , то есть чем больше одна из них, тем меньше другая.

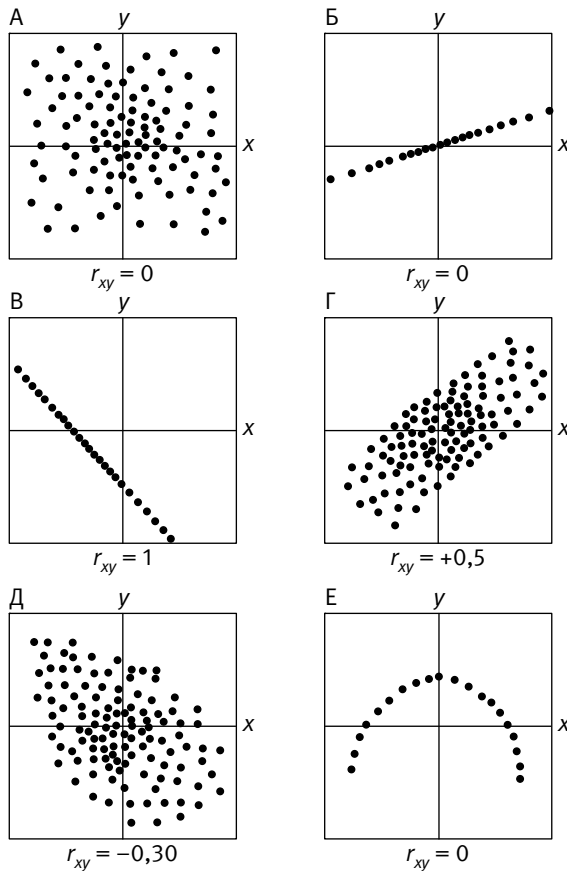


Рис. 2.1. Шесть фрагментов, демонстрирующих разные коэффициенты корреляции (рисунок взят из книги И. Шерла «Факторный анализ»)

На фрагменте Г рис. 2.1 точки также разбросаны не случайно, они имеют тенденцию группироваться в определенном направлении. Такая же особенность, но с противоположным знаком, характерна и для фрагмента Д. Соответствующие этим двум фрагментам коэффициенты корреляции приблизительно будут равны +0,50 и -0,30. Наконец, фрагмент Е дает коэффициент корреляции, близкий к 0, так как в данном случае связь между переменными хотя и существует, но не является линейной.

Теперь сформулируем несколько элементарных правил, которые помогут вам сознательно и корректно применять коэффициент корреляции при проведении исследований и чтении научной литературы.

1. Корреляция бывает положительной (+) и отрицательной (-).

Знак корреляции показывает, связаны ли две переменные положительной корреляцией (величина обеих переменных растет или уменьшается одновременно) или отрицательной корреляцией (одна переменная растет при уменьшении другой).

2. По мере усиления связи двух переменных  $r_{xy}$  увеличивается от 0 до 1. Чтобы лучше это представить, рассмотрим несколько известных положительных коэффициентов корреляции.

3. В психологических исследованиях коэффициент корреляции 0,60 и выше считается достаточно высоким. Корреляция в диапазоне от 0,20 до 0,60 имеет практическую и теоретическую ценность и полезна при выдвижении предсказаний. К корреляции от 0 до 0,20 следует относиться осторожно, при выдвижении предсказаний ее польза минимальна.

4. Важно понимать, что между экспериментальными и корреляционными исследованиями есть существенное различие. Оно касается причинно-следственных (каузальных) связей. Как правило, в экспериментальном исследовании посредством манипулирования независимой переменной определяют ее причинное воздействие на зависимые переменные. Такие причинно-следственные связи нельзя вывести из корреляционных исследований. Мы можем, как уже отмечалось, оценить из коэффициента корреляции только взаимоотношения между двумя переменными, а именно направление этих взаимоотношений и степень их выраженности (тесноту связей).

*Тесты.* Наиболее яркий пример использования корреляционного метода — тесты по измерению некоторых способностей, достижений и других психологических качеств. При тестировании группе людей, различающихся по какому-нибудь качеству (например, математическим способностям, ловкости рук или агрессивности), предъявляют некоторую стандартную ситуацию. Затем можно вычислить корреляцию между изменениями показателей данного те-

ста и изменением другой переменной. Например, можно установить корреляцию между показателями группы студентов в тесте на математические способности и их оценками по математике при дальнейшем обучении в колледже; если корреляция значительная, то на основе результатов этого теста можно решить, кого из нового набора студентов можно перевести в группу с повышенными требованиями.

Тестирование — важный инструмент психологических исследований. Оно позволяет психологам получать большое количество данных о людях с минимальным отрывом их от повседневных дел и без применения сложного лабораторного оборудования. В настоящее время происходит становление новой для психологической диагностики области исследований — компьютерной психодиагностики как междисциплинарного направления. Использование возможностей сети Интернет для планирования, организации и проведения психологических исследований стало актуальной проблемой в области компьютерной психодиагностики. Проводимые сейчас разработки в сети Интернет относятся к достаточно широкому кругу предметных областей, однако большинство их является когнитивно-ориентированными, то есть касаются преимущественно познавательных процессов. Список предметных областей исследований включает в себя: познание, мышление, психолингвистику, восприятие и ощущение, память, принятие решений, внимание, личность, социальные группы, социальное познание, социальные установки, компьютеры в психологии.

Сеть Интернет привлекательна для психологов, так как имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами проведения исследований, а именно:

1. Экономия времени, средств, человеческих и других ресурсов. Фактор экономии ресурсов обычно является ключевым при принятии решения о проведении эксперимента в сети Интернет.

2. Возможность набрать большее число испытуемых, что обеспечивает и большую точность статистических выводов.

3. Расширение выборки по сравнению с традиционными формами, что позволяет снизить влияние культурно-специфичных факторов и дает возможность с большей уверенностью обобщать результаты исследования. Иногда проведение исследования в сети — единственный способ набрать необходимое количество испытуемых из целевой совокупности. Здесь проще найти специфическую группу испытуемых, труднодоступную в обычных условиях, в частности исследовать маргинальные социальные группы.

4. Легкость изменения методического инструментария на этапе его разработки и апробации.

5. Приближенность экспериментальной ситуации к условиям, в которых находится испытуемый, что обеспечивает большую экологическую валидность.

6. Снижение влияния экспериментатора.

7. Возможность предоставления индивидуальной обратной связи непосредственно после прохождения тестирования, что служит дополнительным фактором привлечения испытуемых.

8. Испытуемые в Интернете более откровенны, что снижает искажение данных под воздействием фактора социальной желательности.

При опросах с использованием электронной почты выявлена меньшая потребность в одобрении, чем в традиционных исследованиях. При ответах на открытые вопросы по электронной почте испытуемые дают более подробную и развернутую информацию.

9. Появление дополнительных возможностей программного контроля за выполнением заданий. Эта позволяет решить проблему неполных ответов, их формата и последовательности выполнения заданий. Инструкцию и стимульный материал предоставляет программный комплекс, осуществляющий также обработку полученных данных. Ее результаты автоматически соотносятся с психометрическими нормами, на основании чего испытуемому выводится текст интерпретации.

10. Многие пользователи компьютерной сети подготовлены к встрече с тестами, так как для получения обратной связи многие администраторы сети создают и размещают на своих серверах непсихологические опросники-анкеты. Достаточно большой процент пользователей имеет опыт участия в опросах, предъявляемых в виде одностраничной анкеты или последовательности диалогов. У пользователей глобальной сети достаточно высока готовность к участию в тестировании еще и потому, что многие администраторы сайтов размещают на них популярные, а зачастую и профессиональные тесты в качестве развлекательного материала.

Вместе с тем у психологических исследований, проводимых в сети Интернет, есть и очевидные недостатки:

1) испытуемый может давать произвольные ответы на вопросы: с целью посмотреть, что получится;

2) велика вероятность намеренного искажения информации о себе, особенно социально-демографической. Ответы, которые даются таким образом, могут быть вполне правдоподобны и поэтому могут не поддаваться контролю с помощью программного обеспечения;

3) на особенности восприятия стимульного материала могут влиять особенности компьютера испытуемого — монитора, браузера и т. п.

Сайт, на котором проводится исследование, может выглядеть совершенно по-разному на разных мониторах и при просмотре разными браузерами, что не может не влиять на результаты. Эти особенности необходимо учитывать в тех случаях, когда восприятие стимульного материала играет важную роль при проведении исследования;

4) кроме того, при проведении исследования в Интернете испытуемый лишен возможности задать экспериментатору вопрос, касающийся понимания того, как именно выполнять задания. Это может приводить к неверному пониманию заданий и, следовательно, искажению результатов. Очевидно, что в этом случае необходимо формулировать инструкции наиболее ясно. Кроме того, при проведении исследования желательно оставлять побольше места под обратную связь. Желательна также информация о том, сколько времени займет участие в исследовании. Как показывает опыт, в исследованиях, авторы которых предоставляли информацию о том, сколько времени займет тестирование, принимало участие больше людей.

### **Современные аппаратурные методы психологических исследований**

Особо следует остановиться на новых объективных методах исследований. Эти методы основываются на сложной компьютерной технике, ставшей реальностью совсем недавно, а также на достижениях современной физики. Чтобы оценить значимость этих методов, достаточно сказать, что с их помощью стало возможным получать изображения живого мозга, не причиняя пациенту повреждений и страданий. Заметим, что еще совсем недавно получение подобной информации было возможным только при нейрохирургических операциях или путем аутопсии — после смерти пациента.

Первый из таких методов носит название компьютерная аксиальная томография (сокращенно КАТ). Голова пациента пронизывается тонкими веерообразными рентгеновскими лучами при помощи вращающегося рентгеновского аппарата. Интенсивность прошедшего насквозь излучения регистрируется чувствительными детекторами. КАТ-сканер, вращая рентгеновский луч, позволяет произвести замеры интенсивности при сотнях тысяч различных ориентаций (или осей) рентгеновского луча относительно головы. Результаты измерений поступают в компьютер, где путем соответствующих вычислений воссоздается картина поперечных сечений мозга, которую можно сфотографировать или показать на телеэкране. В когнитивной психологии этот метод применялся для отображения когнитивных структур.

Более новый и совершенный метод носит название ЯМР (ядерный магнитный резонанс). Чтобы получить изображение тканей того или иного органа,

в ЯМР-сканерах используются сильные магнитные поля, импульсы в диапазоне радиочастот и компьютеры, формирующие само изображение. Человека помещают в специальную цилиндрическую камеру с постоянным сильным магнитным полем. Когда исследуемый анатомический орган помещают в сильное магнитное поле, то протоны тканей этого органа начинают колебаться с частотой, пропорциональной напряженности магнитного поля. При воздействии на орган радиочастотными импульсами протоны в тканях этого органа поглощают их энергию с частотой осцилляции, а после прекращения начинают излучать поглощенную энергию. Этот сигнал регистрируется как ЯМР-сигнал. Как и в КАТ, здесь делаются сотни тысяч замеров, которые затем преобразуются компьютером в двумерное изображение данного анатомического органа. Следует отметить, что этот метод первоначально позволял осуществлять наблюдение только статичных биологических структур и представлял ценность для медицины. В дальнейшем на основе ЯМР появилась быстродействующая техника, делающая ее пригодной для исследования быстро изменяющихся процессов, связанных с познавательной деятельностью.

Но наиболее информативным методом, позволяющим получить данные о степени нервной активности в различных участках мозга, является метод компьютерного сканирования, который называется позитронно-эмиссионной томографией (ПЭТ). Этот метод основан на том факте, что метаболические процессы в каждой клетке организма требуют затрат энергии. В качестве основного источника энергии нейроны мозга используют глюкозу (точнее ее аналог — дезоксиглюкозу), вбирая ее из кровотока. Если в глюкозу добавить немного радиоактивных изотопов, то в мозгу эти изотопы излучают позитроны, каждый из которых, пройдя через ткань мозга, сталкивается с электроном. В результате столкновения этих частиц появляется пара протонов, которые улавливаются детекторами специальной ПЭТ-камеры. Наиболее активным нейронам мозга требуется больше глюкозы, и, следовательно, они становятся более радиоактивными. Информация от детекторов обрабатывается компьютером и преобразуется в цветное изображение поперечного сечения мозга, где различные цвета отображают различные уровни нервной активности (рис. 2.2). В психологических исследованиях ПЭТ использовали при обнаружении различия в уровнях метаболизма некоторых участков коры и в исследованиях участков мозга, активированных при выполнении различных видов деятельности — слушании музыки, решении математических задач и ведении разговора. Цель заключалась в том, чтобы установить, какие мозговые структуры вовлечены в соответствующие высшие психические функции (Pozner, 1993). Также ПЭТ применялась при открытии Э. Тульвингом двух особых видов памяти: эпизодической и семантической.

Сканеры, использующие КТ, ЯМР и ПЭТ, оказались бесценными инструментами для изучения связи между мозгом и поведением. Эти орудия являются примером того, как технические достижения в одной научной области позволяют другой области также сделать рывок вперед.

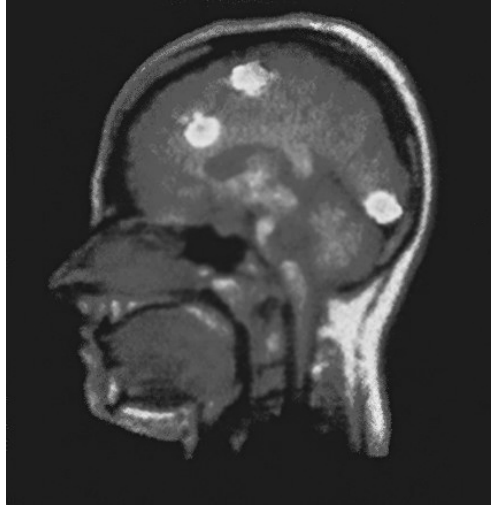


Рис. 2.2. Изображение, полученное с помощью ПЭТ.  
Видны три зоны в левом полушарии,  
активные во время решения речевой задачи

Еще одним нашедшим применение методом в эргономике является регистрация окуломоторной активности человека. Она производится с помощью специальных приборов — *айтрекеров*. Айтрекеры определяют ориентацию оптической оси глазного яблока и динамику изменения этой ориентации во времени. Это делается несколькими способами, но их можно разделить на три больших группы. Первый тип использует механический контакт с глазом. Это могут быть контактные линзы со встроенными зеркалами, это может быть миниатюрное устройство, создающее магнитное поле. Измерения, проведенные с помощью специальных контактных линз, показали записи, чрезвычайно чувствительные к движению глаз. Данные методы часто используются исследователями, изучающими динамику и скрытую физиологию движения глаз.

Следующая обширная категория использует бесконтактные оптические методы регистрации движения глаз. Как правило, используется инфракрасная подсветка, которая отражается глазным яблоком и регистрируется видеокамерой или другим специально разработанным оптическим сенсором. В процессе обработки видеозаписи получается информация об ориентации глазного яблока

в пространстве и ее временная динамика. Айтрекеры, основанные на видеозаписи, часто используют отражение инфракрасной подсветки от роговицы глаз (первое изображение Пуркине) для расчета направления на центр глазного яблока и дальнейшего сравнения с координатами центра зрачка. Более сложный тип айтрекера использует как отражение от роговицы, так и отражение от хрусталика глаза. Наиболее сложные айтрекеры данного типа анализируют также расположение сосудов на роговице глаза и его сетчатке. Данная категория айтрекеров наиболее часто используется в задачах гейзтрекинга (нахождение точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости экрана, на котором предъявляется некоторый визуальный стимул), которые требуют, чтобы процедура эксперимента была неинвазивна, а оборудование было относительно недорогим.

Третья категория использует электрические потенциалы, измеряемые электродами, расположенными вокруг глаз. Каждый глаз является источником стабильного электрического поля, которое может быть обнаружено в условиях полной темноты или когда испытуемый закрывает глаза. Глаз может быть приравнен к диполю, положительный полюс которого находится на роговице, а отрицательный на сетчатке. Электрический сигнал может быть получен путем использования двух пар электродов, устанавливаемых на кожу вокруг одного из глаз. Данный метод называется электроокулограммой (ЭОГ). Если глаза двигаются из центральной позиции к периферийной, то сетчатка приближается к одному электроду, а роговица к другому. Данный процесс меняет ориентацию диполя — как следствие меняется электрическое поле и, следовательно, меняется измеряемый ЭОГ-сигнал. Таким образом, анализ этих электрических сигналов может быть использован для айттрекинга. Благодаря тому что используется две пары электродов, возможно разделение горизонтальных и вертикальных компонент движения глаз. Третьим ЭОГ-компонентом является радиальный ЭОГ канал, который является разницей между средним значением 4-х ЭОГ-электродов и дополнительного электрода, закрепленного на голове. Этот радиальный канал чувствителен к потенциалам, вызываемым саккадическими спайками глазодвигательных мышц, что позволяет проводить детекцию даже крайне незначительных саккад.

Благодаря потенциалам сигналов ЭОГ и длительности саккад, становится возможным использовать ЭОГ для измерения медленных движений глаз и определения позиции взгляда. Кроме того, ЭОГ является весьма устойчивой техникой определения саккадического движения глаз на фоне движений головы и моргания глаз. В противоположность методам, основанным на видеозаписи, ЭОГ позволяет проводить регистрацию движений глаз, даже когда



глаза закрыты, и, таким образом, ЭОГ может быть использована в исследованиях процесса сна. Это весьма малоресурсоемкий подход, который, в противоположность методам, основанным на видеозаписи, не требует мощный компьютер, работает при различных световых условиях и легко может быть выполнен в виде мобильного устройства. Таким образом, этот метод хорош для мобильного айтрекинга в повседневных ситуациях, а также в исследованиях *стадии быстрых движений* глаз во время сна. На сегодняшний день самыми широко применяемыми являются айтрекеры на основе видеозаписи глаз. Камера снимает один или оба глаза и регистрирует их движения, пока испытуемый рассматривает визуальный стимул. Большинство современных айтрекеров используют контраст между зрачком и радужной оболочкой, который возникает при инфракрасной подсветке. Кроме того, анализируется положение блика инфракрасной подсветки, благодаря чему становится возможным определить ориентацию оптической оси глазного яблока. Используется два основных типа подобных систем: системы, основанные на методе яркого зрачка, и системы, основанные на методе темного зрачка. Их разница заключается в расположении источника подсветки относительно камеры. В случае, если подсветка расположена параллельно оптической оси камеры, глаз работает как вторичный отражатель света, который поступает от подсветки и отражается от сетчатки, создавая эффект яркого зрачка, аналогичный эффекту красных глаз в фотографии. В случае если источник подсветки сдвинут относительно оптической оси камеры, зрачок становится черным, поскольку вторичное отражение от сетчатки не поступает в камеру. Эффект яркого зрачка позволяет вести айтрекинг в независимости от цвета радужной оболочки испытуемого. Это также способствует преодолению влияния темной глазной туши и ресниц, частично закрывающих зрачок. Это также позволяет проводить айтрекинг при световых условиях от полной темноты до высокой освещенности, однако техники яркого глаза не эффективны для айтрекинга в условиях улицы, вследствие наличия дополнительных источников инфракрасного излучения. Устройства для айтрекинга в своей аппаратной реализации очень сильно отличаются. Некоторые из них монтируются на голову испытуемого, другие требуют неподвижного закрепления головы испытуемого, остальные функционируют удаленно и автоматически компенсируют движения головы. Большинство систем функционируют при скорости съемки не менее 30 кадров в секунду. Несмотря на то что наиболее часто используемой скоростью съемки является 50/60 кадров в секунду, большинство айтрекеров, основанных на видеосъемке глаз, работают на скоростях 12, 300, 500 или даже 1000/1250 кадров в секунду. Это необходимо для обеспечения

регистрации 100 % движений глаз. Движения глаза традиционно разделяются на фиксации и саккады, то есть глаз фиксируется в некоторых позициях и затем быстро передвигается на следующую позицию. Результирующие серии фиксаций и саккад называются путем взгляда (scanpath). Основное количество информации зрительный анализатор человеческого мозга получает во время фиксации. Центр зрительного поля, который образован телесным углом в 2 стерadiana, дает большую часть визуальной информации. Сигнал с оставшейся части зрительного поля менее информативен. Как следствие, положения точек фиксаций, которые нам дает scanpath, объективно показывают точки, привлекающие внимание на зрительном стимуле. Средняя продолжительность фиксаций находится в диапазоне от 200 мс во время чтения текста, до 350 мс во время изучения статического изображения. Процесс движения взгляда от одной точки фиксации к другой (саккада) занимает до 200 мс. Пути взгляда полезны при анализе когнитивных процессов, а также выявлении точек интереса. Другие биологические факторы, например пол, также могут оказать влияние на путь взгляда. Таким образом, айтрекинг может быть использован в юзабилити-исследованиях, а также в управлении внешними устройствами с помощью контроля движений глаз.

*Айтрекинг и гейзтрекинг.* Айтрекеры определяют ориентацию глазного яблока относительно некоторой системы координат. Если айтрекер монтируется на голову испытуемого, например как в системе, основанной на ЭОГ, то необходимо заложить компенсацию движения головы испытуемого относительно этой системы координат. Вследствие этого задача по определению точки взгляда испытуемого усложняется. В случае, если айтрекер неподвижно закреплен, то расчет точки взора приводит к меньшим вычислительным затратам. Во многих системах голова испытуемого фиксируется с помощью офтальмологической рамки, вследствие этого становится возможным избежать дополнительных вычислений, связанных с движением головы испытуемого. В других системах выполняется компенсация движения головы с помощью магнитных сенсоров или дополнительного анализа видеоизображения. Для устройств, монтируемых непосредственно на голове испытуемого, позиция головы и ее ориентация в пространстве складываются с вектором направления взгляда человека. Для систем с неподвижным айтрекером направление головы вычитается из направления взгляда для того, чтобы определить позицию глаз на лице. Информация о механизме и динамике движения глазного яблока пользуется большим спросом в научных исследованиях, однако в большинстве случаев конечной задачей айтрекинга является определение точки взгляда, то есть гейзтрекинг.

И хотя перечисленная техника, прежде всего ПЭТ и ЯМР, находится еще в начале своего развития, несомненно, она будет совершенствоваться. В будущем, наверное, появятся и новые технологии, в разработке которых, надеемся, примут участие и нынешние студенты.

### **Методы моделирования**

Еще одну группу методов психологической науки образуют методы моделирования, которые следует отнести к самостоятельному классу методов. Они применяются, когда использование других методов затруднено. Их особенностью является то, что, с одной стороны, они опираются на определенную информацию о том или ином психическом явлении, а с другой стороны, при их использовании, как правило, не требуется участия испытуемых или учета реальной ситуации. Поэтому бывает очень сложно отнести разнообразные методики моделирования к разряду объективных или субъективных методов. Модели могут быть техническими, логическими, математическими, кибернетическими и т. д.

В *математическом* моделировании используют математическое выражение или формулу, в которой отражена взаимосвязь переменных и отношения между ними, воспроизводящие элементы и отношения в изучаемых явлениях.

*Техническое* моделирование предполагает создание прибора или устройства, по своему действию напоминающего то, что подлежит изучению. *Кибернетическое* моделирование основано на использовании для решения психологических задач понятий из области информатики и кибернетики.

*Логическое* моделирование основано на идеях и символике, применяемой в математической логике.

Развитие компьютеров и программного обеспечения для них дало толчок к моделированию психических явлений на основе законов работы ЭВМ, так как оказалось, что мыслительные операции, используемые людьми, логика их рассуждений при решении задач близки к операциям и логике, на основе которых работают компьютерные программы. Это привело к попыткам представить и описать поведение человека по аналогии с работой компьютера. В связи с этими описаниями стали широко известны имена американских ученых Д. Миллера, Ю. Галантера, К. Прибрама, а также российского психолога Л. М. Веккера.

## Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте методы психологии
2. В чем заключается метод моделирования и каковы перспективы его применения в эргономике?
3. В чем заключается корреляционный метод?
4. Охарактеризуйте современные аппаратные методы.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В.М. Психологические проблемы речевого общения в системе «человек-ЭВМ» / В.М. Воронин, Е.Г. Санникова, З.А. Наседкина. — 2-е изд. — Екатеринбург : УрГУПС, 2012. — 164 с.
2. Воронин В.М. Психология и педагогика / В.М. Воронин, З.А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2014. — 512 с.

## Глава 3

# Контроль состояния и работы оператора на транспорте

### 3.1. Функциональное состояние и его влияние на эффективность деятельности человека-оператора

Одним из важнейших состояний человека, влияющих на эффективность его деятельности, является психическое функциональное состояние (ПФС). Это понятие как научная категория первоначально сформировалось в физиологии, где использовалось для характеристики деятельности организма. В отечественной психологической литературе это понятие появилось сравнительно недавно и связано с именами А. Б. Леоновой и В. И. Медведева. Они определяют психическое функциональное состояние как «интегральный комплекс характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение деятельности, то есть создают возможность деятельности».

В наиболее общем виде ПФС можно определить, как систему психофизиологических и психических функций, от которых зависит продуктивность профессиональной деятельности, работоспособность человека на определенном временном интервале.

ПФС человека-оператора прежде всего связывается с утомлением — сложным и многообразным явлением. Часто оно не прямо оказывает влияние на результативность трудовой деятельности, а проявляется по-иному. Например, трудовые операции, которые раньше выполнялись легко, без всякого напряжения, «автоматически», спустя несколько часов работы требуют дополнительного усилия, известного напряжения, особого внимания. Результативность труда в этом случае может и не снизиться, но само усилие, напряжение является симптомом наступления утомления.

Причина утомления во многом определяется изменением функционального состояния нервных центров, в которых во время работы проходят сложные процессы, отражающие способность нейронов суммировать в себе следовые процессы, остающиеся после каждой свойственной им реакции.

Утомление — это состояние, обратное работоспособности. Объективные процессы, возникающие при развитии утомления, преломляются в сознании работающего ощущением усталости, которое можно трактовать, как биологический сигнал о необходимости либо прекратить работу, либо уменьшить ее интенсивность, хотя эти сигналы наряду с объективным отражением действительности в ряде случаев, как всякое ощущение, дают не точную, а порой даже искаженную информацию. Утомление до известного предела — это нормальное физиологическое состояние человека при работе, естественное следствие трудовой деятельности. Исследования динамики утомления позволили выявить характер соотношения между максимальными возможностями организма, производительностью труда, уровнем эмоционально-волевого напряжения и утомлением. Это соотношение удобнее всего рассмотреть на так называемой «кривой работы» (рис. 3.1).

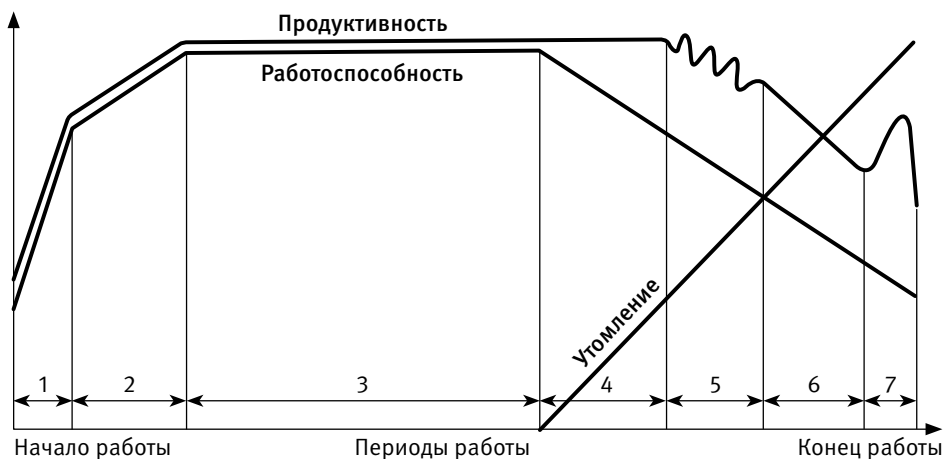


Рис. 3.1. Кривая работы человека

На ней с известной условностью можно выделить следующие периоды.

**Период вработывания:** в начале работы происходит сонастройка (совместная одновременная скоординированная центральной нервной системой настройка) всех рабочих систем организма, в результате несколько увеличиваются его максимальные возможности и в большинстве случаев нарастает производительность.

*Период высокого, стабильного уровня максимальных возможностей:* уровни максимальных возможностей организма, производительности, волевого напряжения до некоторой степени стабилизированы. Утомления в этом периоде нет.

*Период полной и устойчивой компенсации утомления:* появившееся утомление, устанавливаемое по объективным и субъективным показателям, несколько снижает максимальные возможности организма, однако их еще достаточно, чтобы волевым усилием сохранить производительность труда на прежнем уровне.

*Период неустойчивой компенсации:* утомление нарастает, уровень максимальных возможностей продолжает снижаться. Интенсивность волевого напряжения колеблется. При ослаблении его производительность труда снижается. В этот момент человек может допустить ошибку. Таким образом, в период неустойчивой компенсации выполнять работу противопоказано по двум основным причинам: из-за возможности накопления уровня и перехода утомления в переутомление и из-за снижения надежности работника в системе «человек-машина».

*Период устойчивого снижения производительности труда:* усиливающееся утомление настолько снижает максимальные возможности организма, что волевым усилием человек уже не в состоянии сохранять заданный уровень производительности даже на короткие интервалы времени.

В процессе анализа работоспособности помимо утомления выделяют также такое близкое к нему состояние как *монотония*, которое можно определить как следствие однообразия деятельности.

Для состояния монотонии свойственно общее снижение активности обеспечивающих деятельность процессов, а в поведенческом плане погружение человека в дремотное состояние, приводящее к выключению из процесса деятельности.

### 3.2. Виды контроля состояния оператора

Профессиональный отбор и обучение — важные компоненты в успешной деятельности диспетчерского и водительского персонала. Но продуктивность их работы, а также та психофизиологическая «цена», которой она достигается, была и остается в настоящее время важной проблемой эргономики. В этой связи особое место занимает контроль состояния оператора в процессе его трудовой деятельности. Возможные виды контроля состояния оператора весьма разнообразны. В зависимости от поставленных целей контроль состояния

оператора может быть *исследовательским, констатирующим и прогнозирующим*. Исследовательский контроль применяется для проверки адекватности выдвигаемых эргономических решений, выбора наилучшего из имеющихся вариантов. На основании результатов такого контроля, проводимого в процессе эргономического эксперимента, делается вывод о целесообразности или нецелесообразности внедрения в практику данной эргономической разработки. Констатирующий контроль применяется для проверки готовности оператора к выполнению данной деятельности, например к заступлению на дежурство, выезду или вылету в рейс и т. д. Прогнозирующий контроль проводится с целью предсказания возникновения у оператора нежелательных состояний, которые могут служить причиной снижения эффективности его деятельности. Такой контроль необходим в тех случаях, когда оператор выполняет особо ответственные функции и его ошибка или промедление могут привести к серьезным последствиям. Поэтому возникает задача предвидеть эти нежелательные состояния раньше, чем это сказалось на результатах деятельности оператора, и принять меры к предотвращению наступления таких состояний. Однако приведенная классификация требует дальнейшего уточнения, что необходимо для решения как теоретических, так особенно практических задач.

Констатирующий контроль можно подразделить на *входной контроль*, в функцию которого входит помимо проверки готовности оператора к заступлению на дежурство, выезду или вылету в рейс, также контроль в процессе отбора и обучения, и *периодический* — при очередном обследовании или аттестации. В приведенной классификации отсутствует самый важный в настоящее время вид контроля — *текущий*. Принципиальное отличие этого вида контроля от остальных заключается в том, что текущий контроль не должен мешать основной деятельности и потому проводится при минимально возможном участии оператора за минимальный промежуток времени.

В процессе деятельности оператор должен воспринять, понять и оценить поступающую информацию, принять соответствующее решение и осуществить его.

Эффективность всех этих действий наряду с влиянием самых различных факторов существенно зависит и от его функционального состояния. Как крайний случай такой зависимости может быть потеря сознания в результате внешних воздействий, физических или психологических перегрузок, быстрого развития болезни и т. п., то есть перестать реагировать на информацию, поступающую от объекта управления, после чего будет потеряно управление и может наступить опасная ситуация.

Для предотвращения подобных случаев необходимо непрерывно контролировать текущее состояние оператора и при опасных отклонениях параметров (т.



е. при появлении «особых состояний») активно вмешиваться в процесс управления. При этом управление может быть передано другому оператору или автомату, или введен специальный режим функционирования ТС, в частности может быть запущена процедура аварийной остановки объекта.

Если по каким-либо причинам непрерывный контроль состояния оператора невозможен, затруднен или не нужен, то используется контроль через определенные промежутки времени, которые определяются в соответствии с динамическими свойствами управляемого объекта. Например, в использовавшейся в 70–80-е годы XX в. системе контроля состояния машинистов электровозов была установлена периодичность контроля 1,5 мин.

Г. В. Дружинин [6] определяет основные требования к контролю состояния оператора на рабочем месте следующим образом:

1. Для многих систем контроль состояния оператора должен осуществляться в масштабе реального времени. Иногда задержка результатов контроля может привести к катастрофе.

2. Должна обеспечиваться систематичность контроля. Состояние оператора необходимо контролировать или непрерывно, или через короткие промежутки времени.

3. Датчики информации о состоянии оператора не должны стеснять его действий, и система контроля не должна влиять на текущую деятельность оператора.

4. Желательно, чтобы система контроля могла не только определить состояние оператора, но и прогнозировать изменение этого состояния.

5. Должна быть обеспечена высокая помехозащищенность сигналов о состоянии оператора.

6. При распознавании состояний оператора следует учитывать особенности проведения измерений и экспериментов в человеко-машинных системах.

Поэтому при проектировании систем управления необходимо специально предусматривать подсистему контроля текущего состояния персонала.

Осуществление автоматизированного текущего контроля состояния оператора на его рабочем месте может быть:

- по результатам действий оператора в процессе выполнения своих обязанностей;
- по реакции на контрольные сигналы или задания, которые посылаются оператору или в процессе осуществления им действий по управлению системой, или в перерывах между управляющими действиями;
- по произвольным сдвигам параметров физиологических функций оператора, объективно регистрируемых в процессе его текущей деятельности.

К числу особых состояний оператора относятся: напряженность, утомление, нарушение внимания, памяти и др.

Следуя классификации Барлетта [11], можно выделить две основные группы показателей функциональных состояний оператора: физиологические и психологические. В последнюю группу входят критерии эффективности выполнения различных психометрических тестов и анализ субъективной симптоматики конкретных видов функциональных состояний. На рис. 3.2 в наглядной форме показаны возможные физиологические характеристики, используемые для оценки ФС.

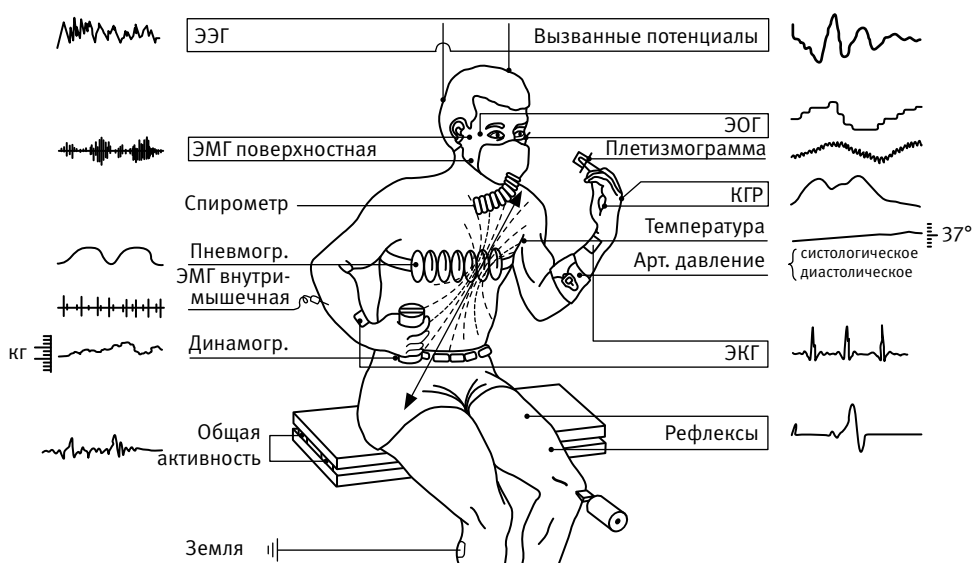


Рис. 3.2. Многоканальная регистрация наиболее часто изучаемых видов биоэлектрической активности человека

Как следует из рисунка, в качестве возможных индикаторов динамики ФС рассматриваются самые разнообразные типы биоэлектрических показателей.

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) характеризует биоэлектрическую активность головного мозга. На ЭЭГ выделяются колебания биопотенциалов в нескольких диапазонах частот. Преобладание низкочастотных колебаний свидетельствует о наступлении торможения (сна, утомления и т. п.). Так, проявлением развивающегося утомления считается реакция дисинхронизации альфа-ритма в сочетании с появлением периодов волновой (дельта и тета ритмы) активности.

По мере возрастания утомления продолжительность этих периодов увеличивается и имеет место «гиперсинхронизации» ЭЭГ. Преобладание высокочастотных колебаний свидетельствует о наступлении возбуждения.

стотных колебаний (дельта- и гамма-ритмы) часто указывает на процесс возбуждения, ведущий к возникновению эмоциональных состояний.

Другим общепринятым методом изучения динамики ФС является кожно-гальваническая реакция (КГР), используемая в качестве индикатора «вегетативного тонуса».

Использование этого показателя связано прежде всего с задачей диагностики состояний эмоциональной напряженности.

КГР оценивают через измерение сопротивления кожи электрическому току, подведенному к ней (этот способ применяют чаще), или собственного электрического потенциала кожи. При эмоциональной напряженности электрическое сопротивление кожи падает, увеличивается количество колебаний сопротивления кожи и одновременно растет разность потенциалов между двумя точками поверхности кожи.

К числу наиболее чувствительных и информативных показателей динамики функциональных состояний относятся различные параметры деятельности сердечно-сосудистой системы: анализ основных составляющих ЭКГ, частота сердечных сокращений, величины артериального давления, кровенаполнения, перивескулярного и капиллярного сопротивления. Развитие состояний напряженности и утомления, связанное с увеличением энергетических затрат, приводит к закономерному возрастанию частоты сердечных сокращений, дыхательных движений и других параметров, свидетельствующих об усилении обменных процессов. Типичная картина изменений основных параметров ЭКГ для определенного субъекта может служить надежным показателем степени адаптации к заданному уровню информационной нагрузки.

Современные методики variability сердечного ритма (BCP) открывают большие возможности использования этих характеристик для оценки ФС человека-оператора. Созданная отечественная программно-аппаратная система «DTA CARD» позволяет создать программно-сглаженный ряд RR-интервалов (сердечных сокращений), формирующих BCP, подвергнуть цифровой обработке в соответствии с методиками статистического, вариационного и спектрального анализа.

Изучение состояния вегетативной нервной системы в настоящее время должно осуществляться согласно общепринятому международному стандарту [12], который предписывает использование следующих показателей сердечного ритма:

1. Статистические параметры BCP: (мода RR — интервалов ( $MoRR$ ), среднее квадратичное отклонение RR — интервалов ( $SDNN$ ), индекс напряженности (ИН), амплитуда моды ( $AMo$ ), коэффициент вариации (CV), вариационный размах (BP).

2. Параметры спектрального анализа ВСР: ТР — полная спектральная плотность в диапазоне  $0,003 \div 0,4$  гц, характеризующая суммарный абсолютный уровень активности регуляторных систем; NLF — спектральная плотность мощности в низкочастотном диапазоне  $0,04 \div 0,15$  гц, характеризующая относительный уровень активности парасимпатического звена регуляции (дыхательные волны).

Электроокулограмма (ЭОГ) характеризует электрическую активность глазных мышц, и в большинстве исследований используется раздельная регистрация вертикальных и горизонтальных движений глаз. При этом знак потенциала ЭОГ указывает направление размещения взгляда, а его величина — угол перемещения. ЭОГ применяется для анализа работы зрительной системы человека со средствами отображения информации, для анализа распределения и изучения состояния внимания глаза в процессе его трудовой деятельности.

Метод окулографии (ЭОГ) использует глазодвигательную активность человека, как одну из главных психических функций, необходимых для операторской деятельности.

Как показали многие работы в эргономике и инженерной психологии, сложность деятельности связана с длительностью фиксации взгляда, причем этот параметр использовался в основном при исследовании процессов, связанных с информационным поиском.

В этих работах отмечалась особая роль саккадических, скачкообразных движений глаз в цикличности переработки и дискретизации поступления зрительной информации. Во многих работах было показано, что при усложнении деятельности происходит увеличение межсаккадических интервалов (МСИ) как произвольного, так и непроизвольного характера. При этом диапазон длительности МСИ составляет значительную величину от 0.03 с до 20 с и более.

Современные исследования [4], развивающие метод ЭОГ, используют более совершенный способ регистрации вертикальной и горизонтальной составляющей движений глаз, специально разработанное программное обеспечение для выделения саккад и оценки МСИ в реальном времени.

Для определения диапазонов изменения МСИ используется модификация одного из методов таксономического анализа — метода выделения формальных элементов.

Пневмограмма (ПГ) — это запись внешнего дыхания. Она используется для оценки психофизиологической напряженности. Литературные данные показывают, что в состоянии возбуждения или напряжения частота дыхания увеличивается до 50–60 колебаний в минуту, наблюдается также уменьшение глубины дыхания и укорочение фазы вдоха относительно фазы выдоха.

Динамика физиологических показателей отражает не только общие сдвиги уровня активности организма, но и изменения нагрузки отдельных функциональных систем. По имеющимся данным, анализ колебаний мозговой гемодинамики при выполнении достаточно сложной интеллектуальной деятельности позволяет выделить основные стадии снижения умственной работоспособности и определить степень участия различных мозговых структур в процессе решения разных задач. Отмечается наличие характерной топографии пунктов максимальной дисинхронизации  $\alpha$ -ритма при решении разных задач в зависимости от их содержания. Влияние утомления приводит к перестройке структурно-функциональной системы электрической активности мозга, также специфичной для различных видов деятельности.

Современные исследования в области когнитивной психологии и нейрокогнитологии связаны с внедрением позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и функциональной магнитно-резонансной томографии (ФМРТ).

После краткого анализа физиологических методов исследования функциональных состояний человека-оператора необходимо указать на существенные трудности, стоящие на пути их практического внедрения, а также на тенденции их изучения в современных исследованиях.

Нет сомнения в том, что умственная нагрузка и изменение функциональных возможностей организма сопровождаются изменениями физиологических показателей. К сожалению, существует много других факторов, которые аналогичным образом влияют на те же самые параметры. Отмечаются [3] нежелательные свойства такого широко используемого показателя, как ЭЭГ: вариабельность ее изменений у одного и того же лица, вариабельность этих изменений у разных лиц, сходство изменений ЭЭГ при существенно различных состояниях. Следует подчеркнуть, что перечисленные особенности характерны и для других физиологических показателей.

В работе отмечается, что использование физиологических показателей в диагностических целях сдерживается и существенными трудностями метрологического порядка. Несмотря на принципиальную возможность непосредственного количественного измерения наблюдаемых в эксперименте сдвигов физиологических функций, перед исследователем встает целый ряд проблем. К их числу относится задача создания и выбора адекватных исследуемому материалу методических средств анализа (математические модели и концептуальные схемы анализа). Кроме того, существует целый ряд общих для всех видов физиологических измерений метрологических проблем, главные из которых — это проблемы эталонного уровня функционирования и нелинейности шкал измерений.

Реальные трудности, возникающие при использовании физиологических показателей для практической диагностики динамики ФС, подвигли исследователей к развитию психологических методов их диагностики.

Чтобы иметь представление о соотношении психологических и физиологических методов в эргономическом анализе деятельности, приведем общую схему такого анализа (рис. 3.3), взятую нами из работы [10]. Из этой схемы видно, что физиологические методы доминируют при исследовании физической, мышечной работы. При умственной работе происходит ориентация на психологические методы.



Рис. 3.3. Методологическая ориентация в эргономическом анализе работы

*Психологические методы тестирования.* Разработка психологических методов оценки функциональных состояний осуществлялась преимущественно в контексте исследований утомления и динамики работоспособности. В истории развития этой проблемы выделяется ряд основных этапов, связанных с принципиально различными подходами к постановке задач исследования и оценкой диагностической валидности тех или иных показателей.

Перспективность применения в диагностических целях субъективных оценок утомления отмечалась еще А. А. Ухтомским, который писал, что так называемые субъективные оценки столь же объективны, как и всякие другие, и дадут на практике критерии утомления и утомляемости более деликатные и точные, чем существующие лабораторные методы сами по себе.

Субъективная симптоматика, основанная на осознании субъектом физиологического дискомфорта и расстройств области различных психических функций, является основой для развития двух различных направлений в методах субъективной диагностики — субъективного шкалирования и опросников.

Методики субъективного шкалирования предназначены для оценки степени утомления самим человеком. Испытуемого просят соотнести свое состояние с рядом признаков, для каждого из которых выделены полярные оценки (отсутствие/присутствие, плохой/хороший). Расстояние между крайними точками представляется в виде многоступенчатой шкалы. Степень выраженности каждого признака определяется расположением точки, выбранной испытуемым на этой шкале. Таким образом, рассматриваемая группа методов является одной из модификаций широко используемого в психологических исследованиях метода семантического дифференциала Осгуда.

В настоящее время при конструировании шкал исходят из нескольких категорий субъективных признаков утомления. Так, популярный в психологических исследованиях тест САН (назван по первым буквам слов «самочувствие», «активность», «настроение») строится на основе трех категорий признаков, и степень выраженности каждого признака устанавливается по семибалльной шкале.

Тест САН представляет собой карту, на которую нанесены 30 пар слов полярного значения. Каждую из трех категорий характеризует 10 пар слов. К категории «самочувствие» относятся характеристики силы, здоровья, степени утомляемости, например: самочувствие плохое/хорошее, чувствую себя сильным/слабым, полный сил/обессиленный и т. д. К категории «активность» относятся характеристики подвижности, скорости протекания различных функций: пассивный / активный, малоподвижный / подвижный, медлительный / быстрый и т. д. В категорию «настроение» включены характеристики эмоционального состояния: веселый / грустный, настроение плохое / хорошее, жизнерадостный / мрачный и т. д. Десятикратное предъявление полярных признаков — членов одной и той же группы — повышает надежность получаемых данных. Расположение положительных (отрицательных) признаков как с правой, так и с левой стороны карты уменьшает возможность преднамеренного искажения результатов. По данным авторов этого метода, его использование дает возможность охарактеризовать функциональное состояние не только по абсолютным оценкам самочувствия, активности и настроения, которые снижаются по мере развития утомления, но и по показателям их соотношения. У отдохнувшего человека все три категории признаков оцениваются близкими цифрами. По мере нарастания утомления растет их дивергенция за счет снижения показателей самочувствия и активности по сравнению с субъективной оценкой настроения.

Развитие методов субъективных оценок функционального состояния идет по линии создания сложных и многоплановых тестов, основанных на использовании современного математического аппарата и ассимиляции данных, накопленных в области традиционного использования метода шкалирования в субъективной психофизике.

Для современных исследований в области создания субъективных опросников характерны тщательная разработка симптоматики утомления, классификация признаков и выделение определяющих факторов, разработка способов контроля за выполнением теста. Однако практическое использование имеющихся опросников встречает целый ряд серьезных трудностей. В первую очередь это связано с отсутствием разработанных способов количественной оценки получаемых результатов. Общее количество отмеченных симптомов — слишком грубый показатель, особенно если не оценена сравнительная значимость присутствия того или иного симптома. Последний недостаток может преодолеваться с помощью объединения опросника с методиками шкалирования каждого симптома.

Весьма перспективным по-прежнему является использование для целей контроля речевого сигнала оператора. Особенно это положение относится к диспетчерскому составу, поскольку его деятельность неразрывно связана с речью (разговор по телефону, ответы на запросы других операторов, доклады начальникам и т. п.). Данный метод не нарушает и не изменяет деятельности операторов, кроме того, он позволяет осуществить непрерывный, автоматический, дистанционный и бесконтактный контроль состояния оператора.

Многими исследователями изучалась вариативность речевого сигнала, обусловленная как индивидуальными особенностями диктора, так и его психофизическим состоянием (ПСФ), а также перекрестным влиянием этих факторов. Несмотря на более чем полувековую историю работ в этой области, до сих пор исследователи получают либо недостоверные и противоречащие результаты, либо результаты, основанные на корреляционной обработке сигналов с некоторыми модификациями, не вскрывающей физическую картину вариативности.

Известно, что речевой тракт человека может быть приближенно представлен в виде сложной акустической резонирующей системы с медленно меняющимися параметрами (соотношение между входом и выходом системы описывается дифференциальным уравнением). Считается, что на вход такой системы в случае классификации сегмента речевого сигнала как вокализованного подается возбуждающий сигнал импульсного характера, в противном случае — шум. Такая модель в исследованиях используется достаточно часто, но лишь для физической интерпретации результатов, так как даже модельные диффе-



ренциальные уравнения имеют очень сложный вид и вряд ли могут быть пригодны для исследований. Влияние психофизического состояния дикторов проявляется в следующих параметрах модели речеобразования:

- изменение основного тона. Основной тон (ОТ) определяется как период последовательности моментов времени, в которые на вход резонирующей системы поступают импульсы возбуждения — колебания голосовых связок, модулирующих поток воздуха из легких, трахеи в гортань. Иными словами, ОТ определяется как интервал времени между моментами начала колебаний голосовых связок. Таким образом, проявление эмоций в речевом сигнале приходится на вокализованные сегменты (грубо говоря, гласные и некоторые типы согласных);
- изменение длительности звуков и пауз. Считается, что неравновесное эмоциональное состояние диктора ведет к сокращению длительности звуков и изменению среднестатистической длительности пауз (длительность пауз может как увеличиваться, так и уменьшаться);
- изменение формы импульса возбуждения речевого тракта;
- изменение динамического диапазона речи;
- смещением энергетического спектра речи;
- изменение частотного спектра речи (увеличение или уменьшение числа спектральных составляющих).

Некоторые исследователи полагают, что индивидуальная и эмоциональная вариативности речевого сигнала (РС) могут быть скрыты в *коартикуляционных* эффектах (изменениях РС при переходе от одной фонемы к другой, вызванных перестройкой резонирующих полостей речевого тракта). Эта точка зрения, безусловно, имеет право на существование, однако эксперименты показывают, что индивидуальные особенности РС «растянуты» по всему спектру РС. В этом эксперименте устанавливалось наличие индивидуальных особенностей в РС после его низкочастотной, полосовой и высокочастотной фильтраций. Полосы пропускания фильтров покрывали весь значимый интервал спектра РС и давали сходный и достаточно высокий эффект узнавания дикторов по стандартным фразам. Поэтому коартикуляционные эффекты являются, скорее всего, дополнительным источником информации об индивидуальных особенностях диктора или его психофизиологического состояния (ПФС).

Изменение основного тона считается наиболее важным показателем изменения ПФС диктора и проявляется, прежде всего, в изменениях среднего значения ОТ, дисперсии (среднеквадратичного отклонения), изрезанности мелодического контура речи (сумма по модулю всех изменений ОТ).

Основная проблема при измерении ОТ заключается в том, что нет возможности точно выделить такие временные интервалы, в начале которых возникают колебания голосовых связок. Временная (пороговая, корреляционная) или спектральная обработки дают недостоверные или огрубленные результаты и не позволяют отслеживать динамику ОТ, более сложная (гомоморфная) не устойчива к влиянию шума. Решение этой задачи методом деконволюции (решение обратной задачи для свертки последовательности импульсов и импульсной реакции голосового тракта) невозможно из-за недостатка априорной информации.

Исследователями была изучена возможность определения ОТ с помощью непрерывного (интегрального) вейвлет-преобразования и было получено подтверждение применимости предложенного метода на практике. В последующей обработке динамики ОТ необходимо отделять интонационную компоненту от эмоциональной (например, вопросительная интонация дает закономерную динамику изменения ОТ, но психофизическое состояние диктора может быть различным — равновесным или стрессовым). Установлено увеличение дисперсии ОТ (усиление изрезанности динамики ОТ) и изрезанности мелодического контура.

Изменение формы импульса возбуждения речевого тракта, по мнению некоторых исследователей, является информативной характеристикой ПФС оператора, так как сказывается на квазипериоде основного тона, интервале времени между приходом импульсов возбуждения, так как изменяется количество нескольких максимумов и расстояний между ними.

Следующая характеристика — длительность звуков (фонем и пауз) — также приводит к одной из до сих пор не решенных проблем обработки речевых сигналов — межфонемной сегментации.

Необходимо уточнить, что под «изменением» какой-либо характеристики нужно понимать *закономерное* (то есть статистически устойчивое) изменение этой характеристики под влиянием набора факторов, так как помимо индивидуальной и эмоциональной вариативностей существует еще один тип вариативности РС, с индивидуальными и эмоциональными особенностями не связанный. Этот тип связан с изменением речевого сигнала, связанного с интонацией (восклицательной, вопросительной, завершенного и незавершенного повествования).

Разделение изменения какой-либо характеристики речевого сигнала, вызванного эмоциональной напряженностью от изменения, вызванного восклицательной или вопросительной интонацией, является дополнительным осложняющим фактором. С другой стороны, важно отметить, что для идентификаций функциональных состояний достаточно различить только два ПФС: равновес-

ное (спокойное и стрессовое). Это упрощает задачу, так как выбор большей размерности ПФС приводит к более сложной задаче с субъективно определяемыми условиями. В нашем же случае мы имеем дело только с задачей различения менее субъективных гипотез: стресс есть, стресс отсутствует.

Для бесконтактного контроля состояния оператора на железнодорожном транспорте можно использовать акто-грамму — регистрацию непроизвольных перемещений положения тела оператора относительно кресла. Информация о состоянии оператора в виде электрических сигналов снимается с тензодатчиков, закрепленных на металлической основе под сидением кресла. По частоте колебаний акто-граммы возможна диагностика по крайней мере трех состояний оператора: утомление (0,23–0,32 Гц), нормальная работоспособность (0,15–0,23 Гц), потеря бдительности, сон (менее 0,15 Гц). Однако надо иметь в виду, что пороги изменения каждого из этих состояний строго индивидуальны для различных людей.

Бесконтактный контроль состояния оператора на железнодорожном транспорте может быть осуществлен также с помощью ВЧ-фотометрии — измерения характеристик свечения (интенсивность, спектр, динамика тока) пальца или руки оператора в поле высокочастотного разряда [8].

Перспективным направлением в оценке функциональных состояний, прежде всего утомляемости, является состояние психологических, поведенческих методик с интеллектуальными техническими системами. Как известно, мониторинг утомляемости машиниста и оценка необходимости отдыха признаны важнейшими факторами безопасности движения. В неменьшей степени это относится и к диспетчерскому персоналу. Нарботанные и внедренные в практику технические устройства, подобные ТК, реагируют уже после того, как машинист теряет способность управлять локомотивом. Следует также учесть, что их действие может вызвать неадекватную реакцию, то есть привести к аварии.

Альтернативным и более предпочтительным является подход, основанный на применении интеллектуального прогнозирования состояния машиниста.

Один из вариантов основан на обнаружении поведенческих шаблонов для определения фаз усталости и сонливости. Так, в работе [5] для этой цели в качестве перспективных определяются системы компьютерного зрения, использующие визуальную информацию, полученную с видеокамеры, установленной в приборной панели. Сигналами, используемыми для определения усталости, могут быть моргание, закрытие глаз, зевание, поддержание головы.

Современная психологическая наука имеет в своем арсенале несколько опросников с целью выявления наиболее информативных симптомов и групп симптомов утомления. Одним из них является опросник физической активности,

разработанный Японской ассоциацией здоровья, где с помощью факторного анализа на основании результатов предварительного оценочного исследования были выделены две группы наиболее информативных симптомов, объединенных под названием «слабая активация» и «слабая мотивация».

Для интеллектуальных технических систем контроля необходим специально отобранный комплекс симптомов утомления, чтобы, с одной стороны, адекватно отображать фазы засыпания и усталости, а с другой — чтобы эти симптомы могли быть идентифицированы этими интеллектуальными системами.

## Контрольные вопросы

1. Назовите физиологические методы изучения динамики ФС.
2. Назовите и охарактеризуйте методики субъективного шкалирования ФС.
3. Каким образом может осуществляться бесконтактный контроль состояния оператора на транспорте?
4. Охарактеризуйте методологическую ориентацию в эргономическом анализе работы.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
2. Воронин В. М. Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика ФС и обучение операторов / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2016. — 249 с.
3. Генкин А. А. Прогнозирование психофизиологических состояний / А. А. Генкин, В. И. Медведев. — Л., «Наука», 1973.
4. Голиков Ю. А. Психология автоматизации управления техникой / Ю. А. Голиков, А. Н. Костин. — М. : Институт психологии РАН, 1996.
5. Гречухин И. А. Интеллектуальная обработка видеoinформации в задачах транспортной безопасности / И. А. Гречухин, А. Н. Каркищенко // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 4. — С. 45–47.
6. Дружинин Г. В. Анализ человеко-машинных систем на железнодорожном транспорте / Г. В. Дружинин. — М. : «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — С. 288.
7. Зинченко В. П. Основы эргономики / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов. — М., 1980.

8. Инженерно-психологическое проектирование АСУ / под ред. А. И. Прохорова. — Киев, 1973. — С. 167.
9. Мунипов В. М. Эргономика: человеко-ориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
10. Ромерт В. Измерение и анализ физиологических и психологических рабочих нагрузок / В. Ромерт ; под ред. Г. Салвенди // Человеческий фактор. — М. : Мир, 1991. — Т. 4. — С. 164–207.
11. Bartlett F. C. Psychological criteria of fatigue. — In: «Simposium of fatigue» (eds. Floyd W. F. & Welford A. T.) / F. C. Bartlett L. — 1953.
12. Heart Rate Variability. Standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use / Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // Circulation. — 1996. — P. 1043–1065.

## Раздел 1

# КОГНИТИВНАЯ ЭРГНОМИКА

## Глава 4

# Психические функции и психофизиологические характеристики человека

Экспериментальная психология несет свое начало с психофизики. В 1860 году немецкий физик, философ и психолог Г. Т. Фехнер, опубликовал свой труд «Элементы психофизики» и положил начало особой науки — психофизики, которая стала изучать количественные зависимости между *внешней стимуляцией* (физическим параметром) и *ощущением* (психологическим параметром). Важность изучения сенсорно-перцептивных процессов можно проиллюстрировать следующим высказыванием Анри Пьерона, автора книги «Ощущение», опубликованной в 1944 году.

Во введении к английскому переводу своей книги Пьерон пишет: «Ощущение возникает в связи с необходимостью управлять поведением организма в окружающей среде. Знание об этой среде приобретает для того, чтобы облегчить выяснение необходимых отношений между предметами и усилиями, которые к ним нужно применять. Поэтому глубина и объем наших знаний зависят от некоторых фундаментальных процессов, которые лежат в основе получения знаний. В соответствии с этим изучение ощущения очень важно как с практической, так и с теоретической точек зрения».

Сенсорные процессы лежат в основе других познавательных процессов, кроме того, они — элемент повседневной жизни человека. Поэтому их изучение — важная и трудная задача. Но нельзя не согласиться с американским психологом Г. Салвенди в том, что «еще более трудная задача — на нескольких страницах, отведенных для этой темы, сжато изложить результаты тысяч и тысяч работ, проведенных с целью изучения структуры и функций сенсорных систем».

#### 4.1. Виды, свойства и характеристики ощущений

Чаще всего ощущение определяют как элементарный психический процесс, состоящий в отражении отдельных свойств предметов материального мира, а также внутренних состояний организма при непосредственном воздействии на соответствующие рецепторы.

К ощущениям относятся: зрение, слух, обоняние, вкус, кожные ощущения, включающие чувство давления, температуры и боли, ощущения тела. В этом разделе мы рассмотрим два свойства, общие для всех сенсорных модальностей. Первое из них относится к описанию сенсорных модальностей на психологическом уровне, а второе относится к биологическому уровню. С психологической точки зрения ощущения — это переживания, связанные с простыми стимулами; на биологическом уровне процессы ощущения рассматриваются в составе органов чувств, проводящих нервных путей и начальных этапов приобретения стимульной информации.

*Чувствительность.* Общим свойством всех наших сенсорных модальностей является их чрезвычайно высокая чувствительность при обнаружении наличия объекта или события или их изменения. Наиболее показательным в этом отношении является зрение. В эксперименте, ставшем классическим, американский исследователь Хехт получил ответ на вопрос, какова минимальная энергия вызывает ощущение света. Оказалось, что для этого нужно приблизительно 10–15 квантов света в следующих экспериментальных условиях: длина волны света 510 нм; длительность предъявления стимула 1 мс; область сетчатки, на которую проецировался стимул, имела круглую форму диаметром 10' и располагалась в 20° от фовеальной области; испытуемый перед тестированием подвергался темновой адаптации в течение, по крайней мере, 40 мин. Если учесть, что наименьшая единица световой энергии — это квант, то эксперимент показал, что чувствительность человеческого зрения находится практически на пределе физической возможности.

Итак, чувствительность сенсорных систем является основой наших ощущений. Возникает вопрос их количественной оценки. Выделяют два типа порогов чувствительности: абсолютный и дифференциальный, или разностный. Причем, как правило, абсолютный порог подразделяют на нижний абсолютный порог и верхний абсолютный порог.

*Нижним абсолютным порогом ощущения называется минимальная величина раздражителя, при котором впервые возникает ощущение.* Раздражители, сила действия которых лежит ниже абсолютного порога ощущения, называемые

подпороговыми, или субпороговыми стимулами, как правило, не дают ощущений, но это не значит, что они не оказывают никакого воздействия на организм. Так, исследования отечественного физиолога Г. В. Гершуни и его сотрудников показали, что звуковые раздражения, лежащие ниже порога ощущения, могут вызывать изменение электрической активности мозга и расширение зрачка.

*Верхний абсолютный порог* — значение стимула, при котором он перестает восприниматься адекватно. Верхний абсолютный порог иногда называют *болевым порогом*, потому что при величинах стимулов, превышающих его, человек испытывает боль.

Начало изучению порогов ощущений, как уже отмечалось, было положено немецким физиком, психологом и философом Г. Т. Фехнером, который считал основными задачами психофизики изучение соотношения физического и психического мира и количественного описания этого соотношения.

Большой заслугой Фехнера было то, что он впервые включил элементарные ощущения в круг интересов психологии. По мнению Фехнера, искомая граница проходит там, где начинается ощущение, то есть возникает первый психический процесс. Для определения нижнего абсолютного порога Фехнер разработал три метода, которые активно используются и в наше время: метод границ, или метод минимального изменения; метод постоянных раздражителей; метод средней ошибки, или процедура уравнивания стимулов.

Оба изложенных выше метода относятся к категории косвенных. Третий метод — процедура уравнивания — относится к категории прямых методов. Особенностью этого метода является то, что *интенсивность стимула контролируется испытуемым*, то есть он должен довести интенсивность до *едва распознаваемого уровня*, который признается пороговым. Хотя это и быстрый метод, он, как правило, дает наименее точные данные. Его основной недостаток — плохая воспроизводимость результатов, причина которой, возможно, заключается в том, что разные испытуемые выполняют стандартные процедуры с разной точностью и аккуратностью.

Аналогичным способом определяется и *верхний абсолютный порог*. Абсолютные пороги — верхний и нижний — определяют границы доступного нашему восприятию окружающего мира. По аналогии с измерительным прибором абсолютные пороги определяют диапазон, в котором сенсорная система может измерять раздражители, но кроме этого диапазона работу прибора характеризует его точность, или чувствительность. Величина абсолютного порога характеризует абсолютную чувствительность. Они связаны обратной зависимостью, то есть *абсолютная чувствительность численно равна величине, обратно пропорциональной абсолютному порогу ощущений*. Если абсолютную



чувствительность обозначить буквой  $E_0$ , а величину абсолютного порога  $S_0$ , то связь абсолютной чувствительности и абсолютного порога может быть выражена формулой

$$E_0 = 1/S_0.$$

Различные анализаторы обладают разной чувствительностью. О чувствительности глаза мы уже говорили. Очень высока чувствительность и нашего обоняния. Порог одной обонятельной клетки человека для соответствующих пахучих веществ не превышает восьми молекул, а чтобы вызвать вкусовое ощущение требуется по крайней мере в 25 000 раз больше молекул, чем для возникновения обонятельного ощущения.

Абсолютная чувствительность анализатора в равной степени зависит как от нижнего, так и от верхнего порога ощущения. Величина абсолютных порогов, как нижнего, так и верхнего, изменяется в зависимости от разных условий: характера деятельности и возраста человека, функционального состояния рецептора, силы и длительности действия раздражения и т. д.

Итак, мы познакомились с абсолютной чувствительностью и абсолютным порогом. Другая характеристика чувствительности — это способность к различению. Ее еще называют *относительной, или разностной*, так как это чувствительность к изменению раздражителя. Соответственно *та минимальная разница между двумя раздражителями, необходимая для того, чтобы они были восприняты как разные сигналы, носит название дифференциальный порог, или порог различения*.

Изучение дифференциального порога занимает заметное место в истории психофизики. В 1834 году Эрнст Вебер, немецкий психолог, изучал способность испытуемых выполнять задания, связанные с необходимостью различать сигналы. Он определил, что количественные изменения сигнала — увеличение или уменьшение его интенсивности, необходимое для того, чтобы второй сигнал был воспринят как отличный от первого, — пропорциональны абсолютной величине сигнала. Так, Вебер, исследуя ощущение тяжести, заметил, что если к грузу в 100 граммов необходимо прибавить три грамма, чтобы почувствовать *едва заметное различие* (ЕЗР), то к грузу в 200 граммов, для того чтобы почувствовать такое различие, необходимо добавить шесть граммов. Дальнейшие исследования показали, что подобная закономерность существует и у других видов ощущений.

Например, Вебер нашел, что добавление одной свечи к шестидесяти горящим свечам приводит к обнаруживаемому увеличению яркости, а добавление

одной свечи к ста двадцати горящим свечам — нет. Для достижения едва заметного различия при ста двадцати свечах нужны как минимум две свечи. Продолжив разбирать этот пример, мы найдем, что для заметного увеличения освещенности при трехстах горящих свечах понадобятся пять или больше свечей, если горят шестьсот свечей — десять и т. д. То же самое относится и к слуховым, и к двигательным, и к другим ощущениям.

1. Вебер также показал, что отношение ЕЗР к величине исходного стимула является константой для каждой сенсорной модальности. Этот психофизический закон получил название — закон Вебера–Бугера (французский физик М. Бугер раньше Вебера на материале световых ощущений установил, что для возникновения ощущения изменения освещенности необходимо изменить поток света на определенную величину). Он выражается следующей формулой:

$$I/I = \text{const},$$

где  $I$  — величина, на которую должен быть изменен исходный, уже породивший ощущение стимул, чтобы человек заметил, что он действительно изменился;

$I$  — величина действующего стимула;

const (константа) — постоянная величина, характеризующая порог различия ощущения, названная *константой Вебера*. Параметры константы Вебера приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Константы Вебера для разных сенсорных систем

Вид ощущения	Константы Вебера в %
Вкус (соль)	20
Яркость	1,7
Громкость	10
Вибрация	3,6
Длина линии	2,9
Тяжесть	2,0
Электрический ток	1,3

2. Насколько точным показателем является отношение Вебера? Принято считать, что оно достаточно валидно для средней части диапазона чувствительности сенсорной системы, однако для очень слабых и очень интенсивных сигналов оно уже значительно менее валидно, и это справедливо для всех сенсорных

систем. Закон Вебера сыграл важную роль в измерении ощущений и является одним из самых широких эмпирических обобщений в истории экспериментальной психологии. Он также явился основой для количественной оценки связи между физическим раздражителем и ощущением, которую выполнил Г. Т. Фехнер. Основываясь на экспериментальных данных Вебера, Г. Фехнер сформулировал следующий закон, называемый обычно *законом Фехнера*: изменение интенсивности ощущения пропорционально десятичному логарифму изменения интенсивности воздействующего раздражителя. Например, если раздражитель образует следующий ряд: 10; 100; 1000, то интенсивность ощущения будет пропорциональна числам 1; 2; 3; 4. В математическом виде зависимость интенсивности ощущений от силы раздражителя выражается формулой

$$R = K(\lg I - \lg I_0) + C,$$

где  $R$  — интенсивность ощущения;

$I$  — сила раздражителя;

$K$  и  $C$  — константы;

$I_0$  — абсолютный порог.

Данная формула отражает положение, которое носит название *основного психофизического закона*, или *закона Вебера–Фехнера*. Фехнер открыл свой закон в 1860 году, а спустя 100 лет в 1961 году американский ученый С. Стивенс пришел к выводу о том, что основной психофизический закон выражается не логарифмической, а степенной кривой. Он исходил из предположения о том, что для ощущений, или сенсорного пространства, характерно то же отношение, что и для пространства стимулов. Данная закономерность может быть представлена следующим математическим выражением:

$$S = K(I - I_0)^n,$$

где  $S$  — сила ощущений;  $K$  — константа, определяемая избранной единицей измерения;  $n$  — показатель, зависящий от модальности ощущений и изменяющийся в пределах от 0,33 до 3,5 для ощущения яркости, получаемого от удара электрическим током;  $I$  — интенсивность действующего раздражителя;  $I_0$  — интенсивность раздражителя, соответствующая нижнему абсолютному порогу.

Для практики важное значение имеет **оперативный порог ощущений** — наименьшая величина различия между двумя величинами раздражителя, при которой точность и скорость опознания максимальны.

#### 4.1.1. Зрительная система

Человек наделен следующими видами ощущений: а) зрением, б) слухом, в) обонянием, г) вкусом, д) осязанием (или кожным чувством). Наиболее информативным видом из них является **зрение**. Для человека зрение является ведущей, наиболее важной сенсорной системой. На биологическом уровне это подтверждается тем, что в обработке визуальной информации участвует примерно половина коры головного мозга, а на поведенческом уровне ведущую роль зрения для человека каждый может испытать, завязав себе глаза. Поэтому мы начнем характеризовать сенсорные системы именно со зрения.

Каждый орган чувств реагирует на определенный вид физической энергии, и для зрения физическим стимулом является свет. Свет — это электромагнитное излучение, распространяемое в пространстве в виде волн в узком диапазоне спектра от 380 до 760 нанометров (1 нанометр =  $10^{-9}$  метра). Вне чувствительности зрительной системы человека находятся космическое излучение, рентгеновские лучи, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, а также волны радио- и телевизионного диапазона.

В глазу имеются две системы: одна — для формирования изображения, а другая — для преобразования этого изображения в электрические импульсы. Основные компоненты этих систем представлены на рис. 4.1. Система формирования изображения глаза работает подобно фотоаппарату. Ее задача — сфокусировать отраженный от объекта свет так, чтобы получилось его изображение на сетчатке, тонком слое на задней поверхности внутри глазного яблока. Поступающий в глаз свет на своем пути к сетчатке проходит через роговицу, водянистое тело, хрусталик и стекловидное тело. Количество света, поступающего в глаз, регулируется величиной зрачка — небольшого отверстия в радужной оболочке, расположенной в передней части глаза. Радужная оболочка состоит из круговых мышц, которые могут сжиматься и расслабляться, регулируя тем самым размер зрачка.

Радужная оболочка придает глазам их характерный цвет (голубой, карий и т. д.). Система формирования изображения включает роговицу, зрачок и хрусталик. Роговица — это прозрачная передняя поверхность глаза, через нее входит свет, лучи которого роговица преломляет вовнутрь, начиная тем самым формировать изображение. Хрусталик завершает процесс, фокусируя свет на сетчатке. Чтобы сфокусировать свет от объектов, находящихся на различном расстоянии, хрусталик меняет свою форму. Для близких объектов он становится более выпуклым, для далеких — более плоским. Зрачок, третий ком-

понент системы формирования изображения, — это круглое отверстие, диаметр которого меняется в ответ на изменение интенсивности света. В темноте его величина наибольшая, на ярком свете — наименьшая; тем самым он поддерживает количество света, необходимое для формирования качественного изображения при различной интенсивности света. Зрачок может изменять свой размер в 16 раз.

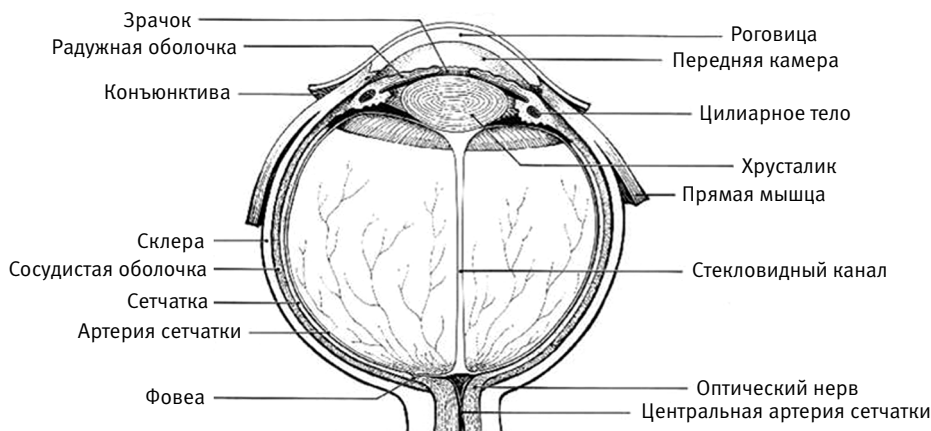


Рис. 4.1. Правый глаз: вид сверху

Все вышеперечисленные компоненты служат для фокусировки изображения на задней стенке глазного яблока, т. е. на сетчатке. Там начинается работа системы преобразований. Сердцем этой системы являются рецепторы. Рецептивные клетки подразделяются на два вида: палочки и колбочки, названные так из-за своей различной формы. Эти два вида рецепторов имеют разную специализацию, отвечающую разным целям. Палочки устроены так, чтобы видеть в условиях ночного освещения; они работают при низких интенсивностях и не дают ощущения цвета. Колбочки наиболее удобны для дневного зрения; они реагируют на высокую интенсивность и дают цветовые ощущения. Любопытно, что палочки и колбочки расположены в том слое сетчатки, который дальше всего отстоит от роговицы.

Сетчатка содержит также сеть нейронов плюс опорные клетки и кровеносные сосуды. Фактически сетчатка — это часть коры головного мозга, вынесенная вовне колбочки, концентрируется на участке сетчатки носящем название фовеа, или центральной ямки. Это маленькое углубление в сетчатке является областью самого острого зрения. Остальная часть сетчатки, периферическая сетчатка, наилучшим образом функционирует при низких уровнях

освещенности. Попадание света на фовеа необходимо для эффекта цветового зрения. Светочувствительные клетки соединены со слоем биполярных клеток, а от них — к другим нейронам, которые называются ганглиозными клетками. Длинные аксоны ганглиозных клеток тянутся от глаза к мозгу, образуя зрительный нерв. В среднем зрительный нерв содержит 800 тысяч волокон. В том месте, где зрительный нерв выходит из глаза, рецепторов нет; поэтому эта зона носит название слепого пятна. Зрительный нерв соединяется с нейронами зоны коры больших полушарий, находящейся в задних отделах головного мозга. Эта зона называется зрительным проекционным полем.

#### 4.1.2. Ощущение цвета и теории цветоощущения

Свет — это форма излучения электромагнитной энергии, передающейся в виде бесконечного потока волн с разной длиной. Соответствующий психологический, или субъективный, эффект, оказываемый волнами разной длины, заключается в том, что человек воспринимает разные **цвета** или **оттенки**. Глазное яблоко, лежащее в защищающем его углублении черепа, имеет сферическую форму, его диаметр равен примерно 20 мм. Снаружи глазное яблоко покрыто белой, непрозрачной оболочкой толщиной около 1 мм, которая называется **склерой** (именно она придает глазу белизну). На передней поверхности глаза склера переходит в прозрачную мембрану, называемую роговицей.

Роговица и хрусталик фокусируют попадающий в глаз свет на сетчатке, выстилающей заднюю поверхность глазного яблока. Светочувствительные рецепторы сетчатки превращают энергию света в нейронный импульс, который передается дальше в зрительную систему по волокнам зрительного нерва. Участок выхода зрительного нерва из глаза называется диском зрительного нерва. Свет, способный вызвать у человека цветовое ощущение, имеет строго определенную длину волны: это лучи видимого электромагнитного спектра с длиной волны от 380 до 760 нм. Следовательно, говоря о «синем» или «красном» свете, мы на самом деле имеем в виду коротко- или длинноволновый свет соответственно, который таким образом воздействует на зрительную систему, что вызывает ощущение синего или красного (цветов). Цветоощущение — это совершенно субъективный результат воздействия на нервную систему отраженного луча, принадлежащего к видимой части спектра и имеющего определенную длину волны. Иными словами, *цвет — это продукт деятельности зрительной системы, а не неотъемлемое свойство видимого спектра*. Какие параметры или атрибуты света вызывают ощущение цвета? Таковых три: **длина волны**,

**интенсивность** и **спектральная чистота**. Каждому из этих параметров соответствует свой особый психологический аспект ощущения цвета: **цветовой тон, яркость** и **насыщенность**. Цвета, которые мы воспринимаем в повседневной жизни, можно считать смесью нескольких цветовых составляющих, каждая из которых характеризуется своей длиной волны. Цвет предмета — результат смешения этих составляющих, поскольку в зрении имеется некоторый механизм интеграции. Если следовать логике, то надо рассматривать две разновидности процесса смешения цветов: субтрактивное и аддитивное смешение.

**Субтрактивное смешение.** Субтрактивный процесс — смешивание красок. Если смешать желтую и синюю краски, то получим зеленый цвет. Желтый пигмент красителя отражает свет в красном, желтом и зеленом диапазонах видимого спектра, а поглощает свет в остальных диапазонах. Синий пигмент отражает свет в синем, зеленом и фиолетовом диапазонах спектра, а в остальных поглощает. Если смешать два таких пигмента, то единственным диапазоном видимого спектра, световые лучи которого не будут поглощаться, будет зеленый. В этом случае мы и будем видеть зеленый цвет. Заметим, что смешение в этом случае фактически происходит в самом материале.

**Аддитивное смешение.** При аддитивном смешении цветов процесс выполняется глазом человека. Пример аддитивного смешения — одновременное проецирование на одно и то же место экрана световых пучков разных цветов. Речь идет о предъявлении в непосредственной близости друг к другу небольших цветных точек или тонких линий, которые глаз не видит раздельно. Другой способ — вращение диска, имеющего несколько окрашенных секторов, с такой скоростью, что нельзя различить отдельные секторы (диск Максвелла). В указанных примерах аддитивного смешения световые лучи с разной длиной волны одновременно попадают в глаз или попадают в него последовательно с высокой частотой, в результате чего раздражаются либо одна и та же точка сетчатки, либо очень близко расположенные элементы сетчатки.

Поскольку здесь нас интересует проблема обозначения цвета, рассмотрим только аддитивное смешение. Процесс такого смешения определяется тремя простыми законами, сформулированными в 1853 году Грассманом:

1. Любой цвет можно получить с помощью линейной комбинации трех основных цветов.
2. Световые лучи одного и того же цвета дают в смеси идентичный эффект независимо от их спектрального состава.
3. Если в смеси двух или большего числа составляющих одна или несколько составляющих постепенно изменяются, в то время как остальные остаются неизменными, то цвет смеси меняется также постепенно.

Некоторые важные явления, связанные с аддитивной моделью смешения цветов, обобщены в **цветовом круге**, представленном на рис. 4.2. Спектральные лучи с разной длиной волны и соответствующие им цветоощущения располагаются по окружности центрального круга, а степени насыщенности представлены вдоль их радиусов. По мере увеличения расстояния от окружности до центра насыщенность цвета уменьшается. Каждый цвет имеет свой **комплементарный цвет**, занимающий в цветовом круге диаметрально противоположную позицию. Комплементарными цветами являются синий и желтый, красный и сине-зеленый, зеленый и пурпурный. Смещение цветов, не являющихся комплементарными друг другу, располагаются на цветовом круге между теми цветами, из которых они образованы.

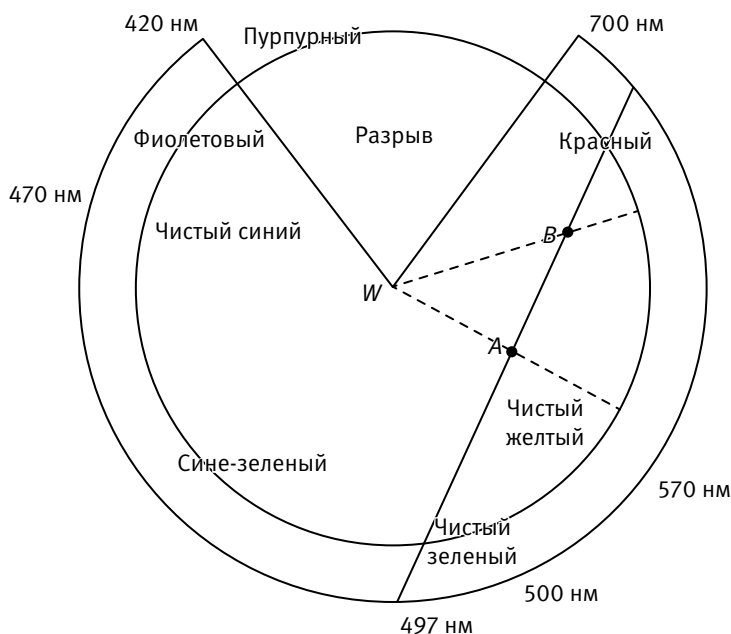


Рис. 4.2. Цветовой круг

Так, если цвета смешивались в равных соотношениях, то образованный ими новый цвет располагается посередине между ними. Примером такой смеси является цвет, обозначенный на рис. 4.2 буквой А. Цвет, образующийся при смешении равных количеств красного и зеленого, воспринимается как желтый. Иными словами, эта смесь вызывает то же самое ощущение, что и желтый цвет.

С помощью цветового круга можно также определить цветоощущения, которые вызывают смеси, содержащие неравные количества исходных цветов.



Чтобы примерно указать место результирующего цвета такой смеси на цветовом круге, следует провести прямую, связывающую два компонента, и найти на ней точку, соответствующую тому соотношению, в котором они были смешаны. Положение этой точки дает представление и о цвете смеси, и о его насыщенности. Точка В (см. рис. 4.2) показывает, что если в смеси содержится больше красного, чем зеленого, то в ее результирующем цвете более ярко выражен красный оттенок, чем зеленый.

В соответствии с трехкомпонентной теорией, о которой речь пойдет ниже, практически любой цвет может быть получен при смешении в определенной пропорции окрашенного света трех определенных цветов, которые получили название основных. Как правило, в качестве основных цветов выбираются синий, зеленый и красный. Отсюда любой цвет можно рассматривать как вектор в трехмерном пространстве. Таким образом, законы, описанные Грассманом, позволяют обозначить любой цвет с помощью трех чисел — трехстимульных коэффициентов, которые представляют собой координаты цветового вектора в цветовом пространстве, определяемом тремя основными цветами.

Аддитивное смешивание находит большое применение в технических системах. Пожалуй, самым известным примером аддитивного смешения цветов является цветное телевидение. Экран обычного цветного телевизора — мозаика близко расположенных друг к другу точек всего лишь трех цветов — как правило, красного, зеленого и синего, индивидуальная интенсивность которых может варьировать.

Цветное изображение возникает на экране благодаря тому, что у каждой точки своя цветовая интенсивность. Поскольку эти точки очень малы, их невозможно рассмотреть с того расстояния, с которого принято смотреть телевизор. Именно поэтому мозаика разноцветных точек, образующих аддитивную смесь, воспринимается как единое целое, а их совместное воздействие вызывает определенное цветоощущение.

*Теории цветового зрения.* Известно немало теорий, пытавшихся объяснить различные явления, связанные с цветовым зрением. Современному состоянию науки более других соответствуют две теории, которые правильнее было бы называть не «теориями», а «различными уровнями объяснения феномена «цветовосприятия»: трехкомпонентная теория цветового зрения и оппонентная теория процессов цветовосприятия.

Суть трехкомпонентной теории цветового зрения, нередко называемой теорией Юнга–Гельмгольца, заключается в следующем: для восприятия всех цветов, присущих лучам видимой части спектра, достаточно рецепторов трех типов. В соответствии с этим наши цветоощущения — результат функционирования

трехкомпонентной системы, или рецепторов трех типов, каждый из которых вносит в них свой определенный вклад. В сетчатке содержатся колбочки трех видов (*S*-, *M*- и *L*-колбочки), каждый из которых обладает максимальной чувствительностью к свету с определенной длиной волны. Это видно из рис. 4.3, на котором представлены абсорбционные свойства фотопигментов, содержащихся в колбочках разных видов.

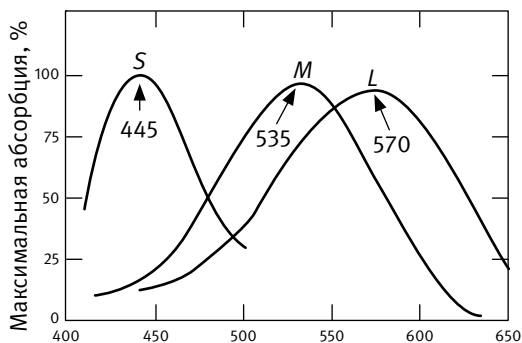


Рис. 4.3. Абсорбционные кривые

Второй важнейшей теорией цветового зрения является *оппонентная теория процессов цветовосприятия*, создателем которой является немецкий физиолог Эвальд Геринг. Как и авторы трехкомпонентной теории, Геринг исходил из существования трех независимых механизмов, однако считал, что в основе каждого из них лежит пара *оппонентных* процессов (или нейрофизиологических систем) цветовразличения: сине-желтый, зелено-красный и черно-белый. Каждый процесс способен вызвать сенсорные ощущения двух типов, являющиеся антагонистами друг друга. Иными словами, механизм цветовосприятия таков, что каждая пара способна вызвать только одно из двух возможных ощущений, то есть человек видит красный *или* зеленый цвет, желтый *или* синий, а не зеленый *и* красный и не желтый *и* синий. Более современный подход к идее оппонентных процессов, обеспечивающих цветовосприятие, изложен в работах Гурвича и Джеймсона (Hurvich & Jameson, 1955, 1957, 1974). Разделяя идеи трехкомпонентной теории цветовосприятия, они исходили из того, что в сетчатке существуют рецепторы (колбочки) трех типов и что каждому из них соответствует свой пигмент, чувствительный к свету с определенной длиной волны. В соответствии с представлениями Гурвича и Джеймсона, информация о длине волны сначала обрабатывается в сетчатке рецепторами трех разных типов — колбочками, после чего поступает на более высокий уровень зрительной системы, где и протекают три оппонентных процесса.

Важно отметить, что, по Гурвичу и Джеймсону, кодирование цвета представляет собой **двухстадийный процесс** — антагонистические, или оппонентные, свойства являются результатом стимуляции трихроматических рецепторов. В результате недавно проведенных нейрофизиологических исследований были обнаружены клетки различных типов, обладающие антагонистическими, или оппонентными, свойствами. С помощью методов функциональной магниторезонансной томографии (ФМРТ) было доказано существование в мозгу клеток, оппонентно реагирующих на стимуляцию красным и зеленым, а также желтым и синим светом. Они активируются длинами волн, соответствующими одному концу видимого спектра (например, красным светом), и тормозятся длинами волн, соответствующими противоположному концу видимого спектра (например, зеленым светом), кодируя таким образом информацию о цвете (Engel et al., 1997). Открытие цветооппонентных клеток легло в основу теории двухстадийного процесса, согласно которой информация о цвете вначале обрабатывается рецепторами сетчатки трех типов в соответствии с трактовкой трехкомпонентной теории цветовосприятия (1 стадия), а затем, на более высоких уровнях зрительной системы, — цветооппонентными клетками (2 стадия) (Cottaris & DeValois, 1998; Shapley, 1998; Shinomori et al., 1999).

#### 4.1.3. Слуховая система и слуховые ощущения

Слух, как и зрение, является важнейшим средством получения информации о внешней среде. Для многих из нас — это основной канал коммуникации и средство передачи музыки. Как мы увидим, все это возможно благодаря тому, что небольшие изменения звукового давления приводят в колебательное движение мембрану внутреннего уха. Источником давления являются звуковые волны. Основными **физическими** характеристиками звуковых волн являются *частота, амплитуда, или интенсивность, и сложность*. Далее мы рассмотрим каждую из этих характеристик отдельно и одновременно расскажем об их **психологических** эффектах (о **высоте, громкости и тембре** соответственно).

*Частота* ( $f$ ) — это **число циклов изменения давления** (т. е. переходов от сжатия к разрежению и обратно), происходящих в течение 1 с. Она измеряется в герцах (Гц). Как и длину световой волны, частоту звука человек различает очень хорошо. Взрослый с нормальным состоянием слуха может слышать частоты в диапазоне от 20 до 20 000 герц (колебаний в секунду), а дифференциальный порог по частоте составляет менее 1 герца при частоте 100 герц и возрастает до 100 герц при 10 килогерцах.

Психологическим параметром аудиального стимула, непосредственно связанным с его частотой, является **абсолютная высота тона**, и звуки разной высоты вызывают у слушателей разные ощущения: они могут казаться высокими или низкими. При возрастании частоты высота увеличивается.

Второй параметр чистого тона — его *интенсивность (амплитуда)*, т. е. различие давлений между пиком и впадиной звуковой волны. Интервал амплитуд, к которым чувствительно ухо чрезвычайно широк. Сила самого громкого звука в миллиарды раз превышает интенсивность самого слабого звука, улавливаемого человеческим ухом. Ввиду этого используют логарифмическую шкалу давлений или децибельную (дБ) шкалу, что позволило резко сократить огромный интервал возможных значений амплитуд и превратить все их значения, доступные человеку, в значительно более узкую и удобную для практического использования шкалу, изменяющуюся от 0 до приблизительно 160. Сила звука в децибелах равна:

$$N_{\text{дБ}} = 20 \log P^e / P^r,$$

где  $N_{\text{дБ}}$  — число децибел;

$P^e$  — звуковое давление, которое нужно выразить в децибелах;

$P^r$  — эталонное давление, равное 0,0002 дин/см<sup>2</sup>.

Децибелы — не такие абсолютные, фиксированные единицы, как граммы, метры или ватты. Выражая интенсивность звука в децибелах, мы показываем, во сколько раз он более или менее интенсивен, чем звук, соответствующий эталонному звуковому давлению  $P^r$ . Психологическим параметром аудиального стимула, непосредственно связанным с его интенсивностью, является *громкость*. Амплитуда звуковой волны — важнейший, но не единственный фактор, определяющий громкость звука. Ощущение громкости звука может зависеть также и от его частоты.

Третьей характеристикой звука является тембр — наше восприятие сложности звука. Практически ни один из звуков, окружающих нас в повседневной жизни, не является чистым тоном, о котором мы говорили выше. Звуки, издаваемые акустическими инструментами, автомобилями, человеческим голосом, животными и природными явлениями — это сочетания акустических сигналов, каждый из которых может быть представлен своей собственной синусоидой, вследствие чего их общая, суммарная, синусоида отличается **сложностью**. Психологическим аспектом восприятия звука, отражающим сложность звуковой волны, является **тембр**.

Теперь рассмотрим анатомическое строение и механизм работы слуховой системы. Как и глаз, ухо содержит две системы. Одна система усиливает и передает звук к рецепторам, после чего включается другая система, которая преобразует звук в нервные импульсы. Передающая система включает наружное ухо, состоящее из внешнего уха и слухового канала, а также среднее ухо, состоящее из барабанной перепонки и цепочки из трех костей — молоточка, наковальни и стремечка. Система преобразования расположена в части внутреннего уха, называемой улиткой и содержащей рецепторы звука. Рассмотрим передающую слуховую систему подробнее (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Строение слуховой системы

Наружное ухо помогает улавливанию звуков и передает их через слуховой канал к упругой мембране, которая называется барабанной перепонкой. Барабанная перепонка — самая наружная часть внутреннего уха. Ее заставляют вибрировать звуковые волны, приходящие по слуховому каналу. Задача внутреннего уха — передать вибрации барабанной перепонки через заполненную воздухом полость к другой мембране, овальному окошечку, служащему воротами ко внутреннему уху и рецепторам. Эту передачу внутреннее ухо осуществляет посредством механического мостика, построенного из молоточка, наковальни и стремечка. От барабанной перепонки вибрации передаются первой из этих косточек, передающей их второй, которая, в свою очередь, передает их третьей, результатом чего являются вибрации овального окошечка. Это механическое приспособление не только передает звуковую волну, но и значительно усиливает ее. Теперь рассмотрим систему преобразования. Улитка — это спиралевидная трубка из костного вещества. Мембраны разделяют ее на секции, заполненные жидкостью; одна из мембран — базилярная, к ней прикреплены

слуховые рецепторы. Эти рецепторы называются волосянными клетками, потому что по строению они похожи на волосы, проникающие в жидкость. Давление на овальном окошечке (соединяющем среднее и внутреннее ухо) создает изменения давления жидкости в улитке, что, в свою очередь, заставляет базилярную мембрану вибрировать, приводя к изгибанию волосяных клеток и появлению электрического импульса. Таков сложный процесс преобразования звуковой волны в электрический импульс. Нейроны, синаптически соединенные с нервными клетками, имеют длинные аксоны, которые образуют часть слухового нерва. Большинство слуховых нейронов соединены с отдельными нервными клетками. В слуховом нерве около 31 000 слуховых нейронов, что гораздо меньше одного миллиона нейронов, составляющих зрительный нерв. От каждого уха слуховые пути идут к обеим сторонам мозга и заканчиваются на синапсах различных ядер, прежде чем достигают слуховой коры.

Каким же образом смещение волосяных клеток базилярной мембраны улитки кодирует разные компоненты звука. Направление на источник звуковых колебаний при восприятии двумя ушами осуществляется за счет бинауральных признаков. По сути, это можно назвать сравнением звуков, получаемых от одного источника и стимулирующих оба уха. Один из этих признаков, называемый **интерауральным различием во времени**, — разница во времени поступления звука в левое и правое ухо слушателя. Как показывают эксперименты этого различия во времени поступления звука в левое и в правое ухо, равного всего 0001 с или менее, достаточно для того, чтобы оно (при одинаковой интенсивности звуков) могло стать признаком для пространственной локализации звука. Другой бинауральный признак, называемый **интерауральным различием в интенсивности**, отражает различие в интенсивности стимуляции правого и левого уха.

Если звук приходит справа, то для правого уха его слышимость будет больше, чем для левого; это происходит потому, что голова служит своеобразным экраном, который снижает интенсивность звука, доходящего до дальнего уха. Различия в интенсивностях звуковых волн с частотой ниже 1000 Гц, исходящих от удаленных источников и стимулирующих правое и левое ухо, настолько незначительны, что не могут служить основой для локализации звуков. В этих ситуациях локализация базируется почти исключительно на интерауральном различии во времени. В реальных условиях низкочастотные и высокочастотные сложные звуки, как правило, возникают одновременно, а это значит, что в большинстве житейских ситуаций успешная пространственная локализация звуков, скорее всего, зависит от обоих механизмов — и от интераурального различия во времени, и от интераурального различия в интенсивности.

Теперь рассмотрим, как производится оценка высотных характеристик звукового сигнала. Для объяснения того, как частота кодируется ухом в высоту звука, были предложены две теории — **теория места** и **временная теория**.

Теория места (Г. Гельмгольц, Г. Бекеши) исходит из строго **томотопической** организации волосковых клеток кортиева органа. Это значит, что каждой стимульной частоте соответствует свое строго определенное место на базилярной мембране.

Временная теория (ее также называют частотной теорией) разработана английским физиком Резерфордом в 1886 году. Она исходит из того, что базилярная мембрана колеблется как единое целое, воспроизводя частоту колебания звука. Отсюда следует, что частота передается слуховому нерву напрямую, в результате колебаний структурных элементов улитки, и этот процесс во многом похож на передачу звуков диафрагмой телефонного аппарата или микрофона.

Последние данные свидетельствуют, что и при частотах, не превышающих 1000 Гц, вся базилярная мембрана целиком вибрирует синхронно частоте изменений давления, фиксируемой улиткой.

Поэтому нам хотелось донести до читателя, что современная теория слуха представляет собой сочетание теории места и временной теории, а это значит, что в основе восприятия высоты тона могут лежать два не зависящих друг от друга, но взаимосвязанных механизма, каждый из которых реализуется для ограниченного интервала частот. Высокие частоты эффективно кодируются механизмом, на котором базируется теория места. При частотах, не превышающих 1000 Гц, когда вся базилярная мембрана целиком вибрирует синхронно частоте изменений давления, фиксируемой улиткой, в дело вступает временная теория. Одному из авторов теории информации Уоррену Уиверу, самому активному стороннику временной теории слуха, принадлежат следующие слова: «Когда речь идет о восприятии низких частот, правит бал временная теория, когда речь идет о высокочастотных волнах — теория места, а когда речь идет о средних частотах, они работают вместе». Аналогичную точку зрения высказал и автор теории места лауреат Нобелевской премии Г. Бекеши, что в восприятии волн с частотой ниже 50 Гц основную роль играет механизм, предложенный авторами временной теории, в восприятии волн с частотой выше 3000 Гц — механизм, на котором основана теория места, а в интервале частот от 50 до 3000 Гц реализуются оба механизма.

#### 4.1.4. Кибернетический и информационный подходы к восприятию

Завершая рассмотрение перцептивных процессов, обсудим две интересные концепции восприятия, представляющих существенный интерес для эргономики.

*Первая концепция, которую можно назвать кибернетической трактовкой восприятия, важна для проектировщиков и эксплуатационников различных технических систем. Во многом эта концепция базируется на модели перцептивного цикла У. Найссера. Авторы этой концепции (П. Фоули, Н. Моури) исходят из того, что назначение перцептивной системы состоит не в том, чтобы сформировать изображение в высших зрительных отделах мозга или представление звуков в высших отделах слуховой системы мозга, а в том, чтобы обеспечить достаточные условия для адаптивного поведения.*

Поэтому они считают неправильной точку зрения, что назначение восприятия — донести до сознания наблюдателя точное отображение состояния окружающей среды. Смысл этого определения становится более понятен, если рассмотреть процесс восприятия в некоторой прикладной области (например, в эргономике). Чтобы взаимодействовать с окружающей средой, летчик, оператор за пультом управления или оператор дистанционных манипуляторов должен иметь возможность воспринимать **состояние этой среды**. Водителю, управляющему автомобилем, оператору энергетической станции, машинисту электровоза — всем им нужна перцептивная информация, чтобы **действовать** надлежащим образом. Отсюда следует, что особенности восприятия могут быть объяснены в том случае, если рассматривать восприятие как компонент некоторой замкнутой системы управления с обратной связью.

Поскольку рассматриваемый процесс с обратной связью имеет итеративный характер, можно сделать ряд выводов. Один из наиболее важных выводов заключается в том, что точность не является самой главной характеристикой восприятия. Часто для того чтобы выполнить какое-нибудь действие, достаточно лишь приблизительно оценить состояние окружающей среды. Если действие привело к нежелательным результатам, то можно выполнить следующую итерацию, вместо того чтобы пытаться получить более точную информацию, или же выбрать более подходящее действие, либо сделать и то и другое. Иными словами, действия могут быть направлены непосредственно на решение нужной задачи, на управление данным процессом, который контролирует оператор (по традиции это называют «ответом» или «выходом» оператора), **или на изменение состояния самого оператора**. Выбранное действие



может заключаться и в более пристальном взгляде на шкалу измерительного прибора (более длительном наблюдении кривых, записываемых на ленте самописцем) или более внимательном прислушивании к звуку. Тем самым можно обеспечить получение более точных оценок. Действием будет также и переход к другому концу пульта управления, получение на экране другого изображения или подстройка яркости и контрастности для того, чтобы улучшить разборчивость деталей на дисплее. По мнению авторов этой концепции, основой восприятия является не анализ образов, а принятие решения (тактического плана) относительно того, какую именно информацию взять для обработки и как ее обрабатывать.

Вторая концепция, носящая название **информационного подхода**, основана на точном анализе визуального восприятия, ориентированном на применение математики и базирующемся преимущественно на компьютерных имитациях и искусственном интеллекте. В этом подходе развивалась основная идея американского психолога Гибсона, заключающаяся в том, что окружающая среда снабжает человека всей информацией, необходимой для восприятия, но также предполагалось восприятие таких характеристик, как форма.

Информационный подход, разработанный Дэвидом Марром (1945–1980), исходит из того, что такие значимые перцептивные действия, как распознавание объекта, включают в себя решение зрительной системой проблемы, связанной с **обработкой информации**. Во введении к своему наиболее значительному труду, посвященному информационному подходу, Марр задает, казалось бы, простой, но на самом деле очень важный вопрос, и сам отвечает на него: «Что значит — видеть? Обычно, отвечая на такой вопрос, человек сказал бы, что видеть — это узнавать при осмотре, что и где находится (Аристотель считал также). Другими словами, зрение — это **процесс** определения по изображениям, что именно присутствует в окружающем мире и где находится». По мнению Марра, зрительная система анализирует ретинальное изображение и извлекает из него информацию точно так же, как компьютеры решают сложные задачи. В соответствии с информационным подходом принципиальной моделью, позволяющей понять механизм восприятия, является то, как компьютер (или аналогичное ему устройство, созданное специально для того, чтобы «видеть») раскладывает образ на элементы и анализирует его. (Эту точку зрения разделяют и сторонники таких тесно связанных с информационным подходом научных направлений, как **искусственный интеллект** и **компьютерное зрение**.) По своей сути теория Марра и гипотетическая, и математическая, поскольку она сформировалась на основе компьютерного моделирования зрительной системы в момент распознавания ею объекта. Информационный подход пытается

проследить весь процесс зрительного распознавания — начиная от спроецированного на сетчатке образа и вплоть до активного узнавания предмета наблюдателем. Начальный этап решения такой сложной задачи, какой является для зрительной системы распознавание объекта, представляет собой дробление этой задачи на ряд последовательно выполняемых стадий, или операций. Результаты обработки («обсчета») информации, получаемые на каждой предыдущей стадии, являются исходными данными для следующей стадии, и этот процесс продолжается вплоть до окончательного решения перцептивной проблемы, т. е. до того момента, когда предмет распознан. Марр потому считает сетчаточное изображение достаточным для восприятия, что в нем содержится весь необходимый «ввод» — стимуляция, которая должна быть проанализирована для получения информации. Марр определил три важнейших информационных уровня, или три шага, последовательного анализа информации, содержащейся в образе на сетчатке. Для каждого уровня анализа характерен отдельный, специфический процесс обработки, или компонент, который важен для успешного решения проблемы распознавания. Более того, эти уровни организованы по иерархическому принципу: последовательный анализ информации начинается с извлечения абстрактного или очень общего представления о каком-либо аспекте окружающей среды, описываемого математически и приводящего к конкретному представлению, т. е. к распознаванию конкретного объекта. Тремя уровнями извлечения из изображений информации о форме объекта, обсчитываемыми независимо друг от друга, являются следующие типы представления: первоначальный эскиз, 2,5-мерный эскиз и представление трехмерной модели.

**Первоначальный эскиз.** В зависимости от отражения света предметами и объектами, находящимися в поле зрения наблюдателя, и от того, как его глаз фокусирует свет, образ, возникающий на сетчатке, содержит паттерны разной интенсивности.

Результатом начальной стадии обработки зрительной информации является предварительное описание этих физических компонентов, и в первую очередь — расстояния от наблюдателя. По терминологии Марра, первая стадия — это создание первоначального эскиза, который зрительная система «рассчитывает» на основании различий между объектами и их фоном, возникающих за счет разных интенсивностей отражаемого ими света, таких как различия в светимости, описанные в этой главе выше. Эта стадия, которую можно сравнить с выявлением их текстуры, формы, положения в пространстве и с набором рутинных математических операций, служит для обнаружения и акцентирования прерывистости светимости — резких изменений интенсивности — в об-

разе на сетчатке, где значения интенсивностей меняются с разными скоростями, выявляя границы и края объектов. Это начальная стадия (или математическая обработка), осуществляемая зрительной системой, но она важна, потому что ранний этап обработки информации о форме объекта основан на информации о его краях. Итак, составление первоначального эскиза заключается в извлечении из сетчаточного образа информации о краях, контурах и границах, а также информации об их местоположении и ориентации в пространстве.

**2,5-мерный эскиз.** На последующем уровне обрабатывается информация, полученная на предыдущем уровне, и цель этой обработки — определение ориентации и глубины контуров и структур физического мира (предметов и объектов) относительно наблюдателя. Иными словами, извлекается информация о глубине и расстоянии, связанная непосредственно с удалением этих структур от данного наблюдателя. Марр назвал эту ориентированную на наблюдателя стадию 2,5-мерным эскизом. Можно сказать, что в самом названии этой стадии в известной мере отражена именно та точка, с которой начинает вырисовываться еще недостаточно четкая, но уже более определенная, чем на первом уровне, информация об окружающей среде, соответствующая восприятию данного наблюдателя, т. е. речь идет об окружающей обстановке, которую видит наблюдатель, находящийся в определенной точке.

**Представление трехмерной модели.** На последней стадии обработки зрительной информации контуры и структуры, извлеченные на второй стадии, трансформируются в трехмерные модели. Когда это происходит, наблюдатель получает объемное изображение физического мира, которое преимущественно не зависит ни от местоположения наблюдателя, ни от его ориентации в пространстве. На этой стадии обработки информации наблюдатель распознает конкретные окружающие предметы и их взаимное пространственное расположение.

Информационный подход весьма существенно отличается от типичных подходов к толкованию перцептивной обработки информации, основанной на восходящих процессах. Он трактует перцептивную активность (т. е. распознавание объекта) как результат выполняемых зрительной системой и последовательно протекающих стадий обработки и обсчета информации, каждая из которых обрабатывает определенную часть информации, содержащейся в образе на сетчатке, а затем обобщает ее и передает на следующую, более высокую стадию для дальнейшей обработки. Иными словами, действия зрительной системы представлены в виде последовательности выкладок или элементарных (рутинных) расчетов, выполняемых на основании сетчаточного образа. Следовательно, как уже отмечалось выше, информационный подход скорее

представляет собой описание последовательности операций, выполняемых компьютерной программой, предназначенной для обработки и анализа информации о некоторых физических свойствах окружающего мира, нежели традиционное, в биологических терминах, описание того, как именно зрительная система и мозг обрабатывают сенсорный сигнал. Преимущественно именно по этой причине информационный подход чрезвычайно тесно связан с такими отраслями науки, как искусственный интеллект и информатика: сравнительно новый информационный подход многими своими находками и достижениями обязан именно этим смежным отраслям знаний. В соответствии с информационным подходом анализ сетчаточного образа может быть уподоблен достаточно сложной обработке информации вычислительной машиной, которая описывается формальными математическими терминами, с которыми заинтересованный читатель может подробно ознакомиться, прочитав монографию Д Марра на русском языке.

## 4.2. Процессы памяти

### 4.2.1. Определение и экскурс в историю изучения памяти

В деятельности операторов огромное значение имеет такой психический процесс, каковым является *память*. ***Память — это процесс запечатления, сохранения, воспроизведения и утраты прошлого опыта, который делает возможным использование опыта в деятельности и восстановление его в сфере сознания.***

Одним из самых старых, но далеко не изживших себя подходом к исследованию памяти является подход, основанный на идеях ассоциационизма, или на теории «стимул-реакция». Согласно этой теории, способность вспоминать — это результат образования ассоциаций, или связей, между стимулами и реакциями, причем от прочности таких связей (называемой прочностью навыка) зависит легкость припоминания. Существование ассоциаций связано с тем, что предметы и явления действительно запечатлеваются и воспроизводятся не изолированно друг от друга, а в связи друг с другом. Воспроизведение одних влечет за собой воспроизведение других, что обуславливается реальными объективными связями предметов и явлений. В рамках ассоциационизма были получены впечатляющие результаты в разгадке многих тайн памяти. Особо следует отметить работы Эббингауза и Йоста. Эти исследователи установили несколько законов памяти, которые вошли во все учебники мировой

психологии. Первый закон устанавливал зависимость забывания материала от времени — знаменитая кривая забывания Эббингауза (показана на рис. 4.5).

Второй закон — это закон накопления и распределения повторений, в окончательной форме сформулированный Йостом (закон Йоста). Математическое представление и использование закона Йоста в профессиональном обучении отражено в главе 13. Наконец, был открыт «позиционный (краевой) эффект», который заключается в том, что при заучивании расположенных в ряд элементов хуже всего запоминаются элементы, несколько смещенные от центра к концу ряда.

Исследования отечественных ученых П. И. Зинченко и А. А. Смирнова внесли серьезный вклад в понимание механизмов *непроизвольной* и *произвольной* памяти: такое деление памяти прямо связано с особенностями выполняемой деятельности человеком. В первом случае запоминание и воспроизведение осуществляется автоматически, без волевых усилий человека, без контроля со стороны сознания. При этом отсутствует специальная цель что-то запомнить или припомнить, то есть не ставится специальная мнемическая задача. В этом случае речь идет о непроизвольном (непреднамеренном) запоминании и воспроизведении. Во втором случае такая задача присутствует, а сам процесс требует волевого усилия. П. И. Зинченко, разрабатывая проблему соотношения этих двух видов памяти, доказал, что установка на запоминание, делающая его прямой целью действия субъекта, не является сама по себе решающей для эффективности процесса запоминания. В определенных случаях непроизвольное запоминание может оказаться эффективнее произвольного. В его экспериментах непреднамеренное запоминание картинок в ходе деятельности, целью которой была их классификация (без задачи запомнить), оказалось определенно выше, чем в случае, когда перед испытуемым была поставлена задача — специально запомнить картинки. Развивая эту идею, П. И. Зинченко пришел к выводу, что информация, кодируемая более значащими средствами, будет сохраняться в непроизвольной памяти лучше, чем информация, кодируемая другими, более поверхностными средствами. Так, запоминаемость слов сильно зависит от цели, которая стоит перед испытуемым во время предъявления материала. Предполагается, что различные цели активируют различные системы связей, поскольку люди имеют разное отношение к материалу.

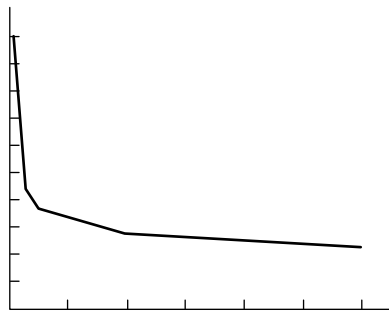


Рис. 4.5. Зависимость забывания материала от времени

А. А. Смирнов в своих исследованиях, посвященных изучению непроизвольной памяти, также пришел к выводу, что прочнее запоминается та информация, которую испытуемые запоминали непроизвольно в процессе деятельности, а не та, основной целью которой было запоминание. Эти работы предвосхищали концепцию уровневой обработки информации, оказавшей большое влияние на современные представления о памяти.

#### *4.2.2. Память в современной когнитивной психологии*

В современной когнитивной психологии присутствуют разные точки зрения на структуру памяти. Одна из психологических теорий представляет память в виде структуры «ящиков» в голове, и на основании этой теории исследователи выдвинули проверяемую гипотезу, согласно которой главную роль при переводе информации из кратковременной памяти в долговременную играет повторение. Конкурирующая с ней теория (теория уровневой обработки) отрицает структурный подход к организации памяти.

Рассмотрим наиболее устоявшуюся модель переработки информации человеком, что позволит лучше охватить всю структуру памяти. Наши пять органов чувств могут обнаруживать огромное количество информации, несмотря на то что их чувствительность ограничена.

Эта информация поступает в систему обработки через один (или несколько) из пяти имеющихся у человека органов чувств и в течение короткого времени сохраняется в сенсорной форме в так называемом сенсорном регистре. В течение непродолжительного времени информация может оставаться в таком регистре, где подвергается первоначальной процессуальной обработке. Прежде всего осуществляется распознавание образов — сложный процесс, возникающий в результате контакта между информацией, находящейся в сенсорном регистре, и информацией, накопленной в памяти. С распознаванием образов тесно связан другой процесс, называемый вниманием. Ввиду того что большая часть этой информации для нас неинтересна или просто превосходит нашу способность к дальнейшей обработке, только небольшое количество информации обрабатывается до уровня кратковременной памяти (КВП). На этом этапе информация хранится в течение недолгого срока в КВП, но теперь она уже не находится в первоначальной, сенсорной форме. Кроме этого, в КВП информация может удерживаться неопределенно долго благодаря процессу, называемому «повторением», и при соответствующей обработке эта информация может со временем быть отложена в долговременной памяти (ДВП),

где сохраняется практически бесконечно. Для когнитивной эргономики важное значение имеет теория долговременной рабочей памяти (Ericsson & Kintsch, 1995), которая дает ответ на вопрос, как используется память в сложных когнитивных процессах — от выработки навыков до понимания текста. Авторы этой теории пришли к выводу, что все прежние исследования памяти за последние сто лет проводились в условиях лабораторных экспериментов с искусственными стимулами. Поэтому использование стандартных моделей рабочей памяти не позволяет объяснить многие сложные когнитивные процессы. Например, почему емкость памяти, необходимая для их осуществления, намного превосходит показатели, полученные в лабораторных экспериментах. Теория долговременной рабочей памяти (ДРП) определяет условия, при которых емкость рабочей памяти может быть значительно увеличена, и описывает механизмы, ответственные за это увеличение. При незнакомых задачах и областях знания используется кратковременная рабочая память, емкость которой сильно ограничена. Поскольку практически во всех лабораторных экспериментах (от Эббингауза до Нормана) испытуемые имели дело с незнакомыми задачами — запоминание списка слов, бессвязных слогов и т. д. — постольку емкость рабочей памяти всегда была небольшой. Эриксон и Кинч утверждают, что ДРП преобладает в экспертных областях знания, в то время как в незнакомых областях от нее не может быть никакой пользы. Таким образом, по мнению этих авторов, рабочая память состоит из двух компонентов: кратковременной рабочей памяти (КРП), которая доступна в любых условиях, но сильно ограничена в своей емкости. Эта та память, которую изучали в большинстве экспериментов по исследованию памяти. Второй компонент рабочей памяти — это ДРП, которая не ограничена по емкости, но доступна только в экспертных областях знания.

## 4.3. Внимание

### 4.3.1. Краткий исторический экскурс в психологию внимания

Теперь, когда мы познакомились со взглядами психологов на память, можно приступить к изучению внимания. Традиция изучать внимание в контексте сознания восходит еще к тому времени, когда психология была «наукой о сознании», то есть к истокам научной психологии. Основоположник научной психологии Вундт и его последователи в результате своих экспериментов пришли к выводу, что простые реакции на зрительные и слуховые раздражители зависят

не только от параметров внешних стимулов, но и от отношения испытуемых к восприятию этих стимулов. Отсюда вхождение какого-либо содержания в сознание было названо перцепцией, а фокусировка ясного сознания на отдельных сторонах содержания — апперцепцией, или вниманием.

Представители гештальтпсихологии, следуя своим взглядам на природу восприятия, считали, что не интенции (намерения) субъекта, а объективная структура поля определяет восприятие предметов и явлений. Они представляли внимание как один силовой фактор, оказывающий влияние на психологические процессы субъекта. По их мнению, если эта сила исходит от субъекта и направлена на объект — это случай произвольного внимания, если же она (сила) исходит от объекта в направлении субъекта — это случай непроизвольного внимания.

Среди теорий внимания широкую известность также приобрела теория Т. Рибо, который считал, что внимание всегда связано с эмоциями и вызывается ими. Особенно тесную связь он усматривал между эмоциями и произвольным вниманием. Внимание, по его мнению, всегда сопровождается изменениями физического и физиологического состояния организма. Рибо выделял три вида физиологических элементов внимания: сосудистые, дыхательные, мимические. Особо ярко явление внимания проявляется в мимике. Например, каждый из нас наблюдал, как при сосредоточении на чем-то у многих происходит сокращение мышц лба, в результате поднимаются брови, шире раскрываются глаза. Акцент на двигательной составляющей акта внимания стал причиной, почему данная теория получила название *моторной теории внимания*.

Значительный вклад в разработку проблемы внимания внесли представители отечественной психологии: Н. Н. Ланге, Д. Н. Узнадзе, Л. С. Выготский, Н. Ф. Добрынин, П. Я. Гальперин.

**Два взгляда на проблему внимания.** Внимание представляет собой психологический феномен, в отношении которого до настоящего времени среди психологов нет единого мнения. Так, некоторые авторы утверждают, что внимание не может рассматриваться как самостоятельное явление, поскольку оно в той или иной мере присутствует в любом другом психическом процессе и не имеет своего собственного специфического продукта. Начало такого рассмотрения было положено гештальтистом Э. Рубином в его докладе в 1925 году на Всемирном психологическом конгрессе.

Другие авторы, наоборот, отстаивают самостоятельность внимания как психического процесса, считая, что именно отсутствие своего содержания делает внимание перспективным для научного изучения.



#### 4.3.2. Виды внимания

Будем придерживаться той точки зрения, которая признает внимание в качестве самостоятельного психического процесса, и рассмотрим виды внимания, основные его свойства и методы изучения.

Первая многоаспектная классификация принадлежит В. Джеймсу. Он выделил шесть видов внимания согласно критериям произвольности, направленности и способу связи акта внимания с наличным мотивационным состоянием. Эта классификация не потеряла своей актуальности и в настоящее время. По активности человека в организации внимания различают три его вида: непроизвольное, произвольное, послепроизвольное.

*Непроизвольное внимание* является наиболее простым видом внимания. Его часто называют пассивным, или вынужденным, так как оно возникает и поддерживается независимо от сознания человека в силу особенностей объекта внимания как раздражителя.

В отличие от непроизвольного внимания главной особенностью *произвольного внимания* является то, что оно управляется сознательной целью. Этот вид внимания тесно связан с волей человека и был выработан в результате трудовых усилий, поэтому его называют еще волевым, активным, преднамеренным.

Существует еще один вид внимания, о котором следует сказать. Этот вид внимания, подобно произвольному, носит целенаправленный характер и первоначально требует волевых усилий, но затем человек «входит» в работу: интересными и значимыми становятся содержание и процесс деятельности, а не только ее результат. Такое внимание было названо Н. Ф. Добрыниным *послепроизвольным*.

*Непосредственное внимание* не управляется ничем, кроме того объекта, на который оно направлено и который находится в сфере интересов и потребностей человека. *Опосредственное внимание* регулируется с помощью специальных средств, таких как слова, жесты и пр. *Чувственное внимание* связано с эмоциями и избирательной работой чувств. В процессе чувственного внимания в его фокусе находится какое-нибудь впечатление. *Интеллектуальное внимание* связано с сосредоточенностью и работой мысли. При интеллектуальном внимании в его фокусе присутствует мысль.

#### 4.3.3. Свойства внимания

Особую значимость для эргономики имеют *свойства внимания*. Внимание обладает рядом свойств, которые характеризуют его как самостоятельный психический процесс. К основным свойствам внимания относятся устойчивость, концентрация, распределение, переключение, отвлекаемость и объем внимания.

*Устойчивость* заключается в способности определенное время сосредоточиваться на одном и том же объекте. Для измерения устойчивости внимания обычно используются таблицы Бурдона, состоящие из беспорядочного чередования отдельных букв, причем каждая буква повторяется в каждой строке одно и то же количество раз. Испытуемому предлагается в течение длительного времени (3, 5, 10 мин) вычеркивать заданные буквы (в простых случаях одну или две буквы, в сложных — заданную букву лишь в том случае, если она стоит перед другой, например гласной). Экспериментатор отмечает число букв, вычеркнутых в течение каждой минуты, и число пропусков. Аналогично измеряется устойчивость внимания с помощью таблиц Крепелина, состоящих из столбиков цифр, которые испытуемый должен складывать в течение длительного времени. Продуктивность работы и число допускаемых ошибок могут служить показателем колебаний внимания.

Следующее свойство внимания — *концентрация* внимания. Под концентрацией внимания подразумевается степень или интенсивность сосредоточенности внимания.

Под *распределением* внимания понимают способность человека выполнять несколько видов деятельности одновременно. Распределение внимания связано со способностью обрабатывать информацию для двух задач или по двум каналам параллельно. Примером может служить способность управлять локомотивом (автомобилем, самолетом) и вести переговоры с диспетчером по радиосвязи.

Под *объемом* внимания понимается количество объектов, которые мы можем охватить с достаточной ясностью одновременно. Для измерения объема внимания применяются разные методики. Одна из них выглядит следующим образом. На экране монитора испытуемому предъявляется поле, поделенное прямыми линиями на 16 равных частей (квадратов). На некоторых квадратах в случайном порядке располагаются точки. В каждом квадрате может быть не более одной точки. Всего на матрице (поле) может быть не более 9 точек. Количество точек зависит от номера задания. В первом задании испытуемому предъявляются две точки, во втором — три и так далее. Каж-

дое из последующих заданий содержит на одну точку больше, чем предыдущее. Всего выполняется 8 заданий. Таким образом, последнее из заданий содержит 9 точек. Каждое из заданий предъявляется испытуемому 2 раза продолжительностью 2 с.

Испытуемому предлагается запомнить расположение точек и воспроизвести их с помощью «мыши» на предъявляемом следом чистом разграфленном поле. Задания следуют по мере возрастающей трудности от 1 до 8, соответственно испытуемый должен запомнить расположение от 2 до 9 точек. На воспроизведение 1–5 заданий дается 15 с, 6–7 заданий — по 20 с, 8–9 заданий — по 25 с. Критерием успешности служит количество правильно воспроизведенных точек на двух любых полях, содержащих максимальный результат. Время выполнения задания — около 5 мин.

*Переключение* означает сознательное и осмысленное перемещение внимания с одного объекта на другой. В целом переключаемость внимания означает способность быстро ориентироваться в сложной изменяющейся ситуации. Наиболее популярная методика исследования переключения — это методика Шульте–Горбова. Она выглядит следующим образом.

На экране монитора (сенсорный экран) испытуемому предъявляется черно-красная таблица. На таблице в случайном порядке расположены числа черного цвета от 1 до 25 и числа красного цвета от 1 до 24. Испытуемому предлагается: при выполнении задания «А» находить и указывать только числа черного цвета в порядке их возрастания, при выполнении задания «В» находить и указывать только числа красного цвета в порядке их убывания, при выполнении задания «С» находить и указывать попеременно числа черного цвета в порядке их возрастания и числа красного цвета в порядке их убывания. То есть «1–24», «2–23» и т. д. Результаты пробы рассчитываются по формуле

$$T = C - (A + B),$$

где:  $T$  — время переключения внимания;

$A$  — время выполнения 1-го задания;

$B$  — время выполнения 2-го задания.

Критерием успешности служит величина критерия « $T$ » и количества допущенных ошибок. Время выполнения методики 6–7 мин. Для эргономической и инженерной практики весьма важным является открытое экспериментально лауреатом нобелевской премии Каннеманом такого психофизиологического показателя, как расширение зрачка, отражающего динамику умственного усилия, вкладываемого в решение задачи. Теперь исследователи при соблюдении

определенных условий, регистрируя только диаметр зрачка, могут по характеру изменений этого произвольного показателя судить о динамике степени умственного усилия или внимания, не прибегая к каким-либо дополнительным процедурам.

## 4.4. Мышление

Завершая наше краткое рассмотрение познавательных психических процессов, рассмотрим важнейший из них — мышление.

### 4.4.1. Определение мышления

Мышление — это активный процесс отражения объективного мира в мозгу человека в форме суждений, понятий, умозаключений. Мышление как социально обусловленный психический процесс неразрывно связано с речью и языком. В отличие от ощущений, восприятий и представлений, мышление есть процесс обобщенного и опосредствованного отражения действительности. В когнитивной психологии мышление трактуется как процесс, с помощью которого формируется новая мысленная репрезентация; это происходит путем преобразования информации, достигаемого в сложном взаимодействии мысленных атрибутов суждения, абстрагирования, рассуждения, воображения и решения задач.

### 4.4.2. Основные виды мышления

В зависимости от характера решаемых задач, степени развернутости, осознанности производимых мыслительных операций, формы информации, быстроты принимаемых решений, различают практическое, теоретическое, наглядно-действенное, наглядно-образное, словесно-логическое, оперативное мышление. Прежде всего можно выделить *теоретическое мышление* как познание общих законов, правил, закономерностей и *практическое мышление* как решение конкретных практических задач. Теоретическое мышление характерно для ученых, потому что в своем развитии может опираться не только на обобщение чувственных данных, но оперировать исключительно абстрактными понятиями. Одной из особенностей практического мышления является то, что оно развертывается в условиях дефицита времени и ограничивает возможности проверки гипотез. Все это делает практическое мышление

часто сложнее теоретического мышления, что было показано, например, в работе Б. М. Теплова «Ум полководца».

*Наглядно-действенное мышление* — анализ и синтез познаваемых объектов в процессе практической деятельности с ними. *Наглядно-образное мышление* — процесс трансформации перцептивных образов и представлений объектов (например, мысленное вращение объекта, его реконструкция и т. п.).

*Образное мышление* — процесс отражения и соотнесение текущей информации о состоянии объекта с ранее накопленной информацией. Понятийное и образное мышление в реальной трудовой деятельности выступают в тесном единстве, переходят одно в другое, что обеспечивает конкретное отражение проблемной ситуации.

*Словесно-логическим, или понятийным, мышлением* называется процесс отражения в сознании человека существенных связей и отношений между предметами и явлениями материального мира.

Для эргономики и инженерной психологии особое значение имеет *оперативное мышление*. Под оперативным мышлением понимается такой процесс решения практических задач, в том числе и задач управления, в результате которого формируется субъективная модель предполагаемой совокупности действий (плана операций), обеспечивающих решение поставленной задачи. Оно включает выявление проблемной ситуации и систему мысленных и практических преобразований.

#### 4.4.3. Оперативное мышление

Основными компонентами оперативного мышления являются структурирование (которое проявляется в образовании более крупных единиц на основе связывания элементов ситуации между собой), динамическое узнавание (узнавание частей конечной ситуации в исходной проблемной ситуации) и формирование алгоритма решения (выработка принципов и правил решения задачи, а также в каждом конкретном случае определение последовательности действий).

Выявлено три этапа процесса решения. На первом этапе наблюдается стремление действовать только с одним элементом ситуации: каждый элемент выступает здесь как одномерный вектор. На втором этапе элементы группируются определенным образом. Третий этап состоит в выработке общих принципов решения данной задачи, обеспечивающих соединение элементов в инвариантные подгруппы и разъединение неудовлетворительно (с точки зрения задачи) связанных элементов.

В деятельности оператора существенную роль играет образное, или наглядное, мышление, т. е. оперирование представлениями реальной ситуации, воссозданными на основе принятой и декодированной информации.

Мыслительная деятельность летчика, штурмана корабля, диспетчера аэропорта и многих других операторов неразрывно связана с трансформацией образов управляемых объектов. Всем этим операторам присуще образное видение объектов. Так, например, управляющие действия летчика обусловлены образом пространственного положения самолета, штурман действует исходя из представления о положении корабля относительно берегов, диспетчер аэропорта принимает решение в соответствии с образом воздушной обстановки.

Оперативный образ формируется на основе соотнесения текущей информации о состоянии объекта с той информацией о нем, которая ранее была накоплена оператором. Развитие оперативного мышления может быть активизировано различными приемами, способами методического порядка, например через создание оперативных образов.

## Контрольные вопросы

1. Дайте определение основного психофизического закона и поясните в чем заключается его отличие от физических законов.
2. Что вы знаете об абсолютном и дифференциальном и оперативном порогах ощущений?
3. Охарактеризуйте теории цветового зрения.
4. В чем суть информационного подхода Марра к трактовке восприятия?
5. В чем заключается коннекционистская модель обработки информации при восприятии?
6. Охарактеризуйте основные типы мышления.
7. Охарактеризуйте оперативное мышление.
8. Какие вы знаете виды и свойства внимания?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Андерсен Д. Когнитивная психология / Д. Андерсен. — М., 2002.
2. Воронин В.М. Психология и педагогика / В.М. Воронин, З.А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2014. — 512 с.

## Глава 5

# Проектирование систем «человек-машина»

### 5.1. Системотехническое проектирование

Проектирование сложных систем, в том числе и систем «человек-машина» (СЧМ), или эргатических систем, осуществляется главным образом методами *системотехники* — одной из областей общей теории систем. Поэтому необходимо хотя бы кратко остановиться на понятиях и методах этой области знания — на них будет опираться все дальнейшее изложение данной главы.

Главным, фундаментальным понятием общей теории систем является сложность.

Согласно концепции общей теории систем, сложность — это совокупность огромного числа объектов, функционирующих вместе и взаимодействующих непростым способом. Сложность есть взаимодействие и, более того, взаимозависимость, т. е. поведение одного или нескольких элементов воздействует на поведение других элементов. Сложность зависит не только от взаимозависимости, но и от числа взаимодействующих компонентов.

Сложные системы можно анализировать, концентрируя внимание либо на объектах, либо на процессах; целесообразнее рассматривать систему как упорядоченную совокупность объектов, которые в процессе взаимодействия друг с другом обеспечивают функционирование системы как единого целого.

При проектировании современных сложных и дорогостоящих систем приходится заботиться не только о том, чтобы они надежно и качественно выполняли возложенные на них функции, но учитывать также затраты сил и средств на их изготовление, на обучение обслуживающего их персонала, соотнося эти показатели с тем эффектом, который будет давать применение таких систем, с ожидаемым на них спросом. Иначе говоря, при разработке новых систем необходимо принимать во внимание большое число весьма разнородных факторов, вытекающих из сферы проектирования систем, их изготовления, реализации и применения.

Помимо того, нужно, чтобы создаваемые системы были пригодны для быстрого и гибкого приспособления к выполнению новых задач, возникающих в связи с изменением внешних и внутренних условий их функционирования. Следовательно, при разработке и создании сложных систем приходится ориентироваться не только на достижение уже имеющихся целей, разрешение существующих задач, но и на прогнозирование новых условий и вариантов их действия, перспектив их дальнейшего использования. При этом приходится учитывать и тот факт, что ошибки, допущенные при проектировании подобных сложных систем: учет отдельных целей, факторов, особенностей работ, — могут обходиться очень дорого и приводить к большим потерям материального и социального порядка.

Все эти обстоятельства коренным образом изменили направление традиционного инженерного мышления: наряду с дифференциацией и тонкой специализацией, утвердившихся в проектировании, возникли противоположные задачи — интеграции и синтеза сложных систем — задачи, в которых не требуется увязывать многие цели, согласовывать большое число факторов технического, экономического, социального порядка, учитывать развитие системы и ее перспективы. Для решения таких задач пришлось привлечь к процессу проектирования специальные методы математики и кибернетики.

Общепризнано, что сложными системами, а железнодорожный или авиационный транспорт, безусловно, относятся к наиболее сложным системам, нельзя управлять без использования математических моделей.

Проектирование сложных систем, таким образом, превратилось в *много-ступенчатую* задачу, включающую в себя ряд крупных проблем:

- 1) научное исследование целей, возможностей, условий, перспектив и прочих факторов, определяющих выбор, создание и применение данной системы;
- 2) выбор на основе этих данных принципа и структуры системы, удовлетворяющих предъявляемым к ней требованиям;
- 3) проектно-конструкторские разработки системы;
- 4) изготовление системы;
- 5) практическое применение системы (эксплуатация).

Среди всех этих проблем именно круг вопросов, включенных во второй пункт этого перечня — выбор принципа системы, связывающего теорию с технологией, и является основным объектом системотехнических исследований. Один из ведущих специалистов в этой области А. Холл (А. Hall) определяет цель системотехники следующим образом: «Сократить разрывы во времени между научными открытиями и их приложением и между возникновением человеческих потребностей и производством новых систем, призванных удовлетворить эти потребности».



Рассмотрим основные понятия, которыми оперируют в системотехнике. Наиболее фундаментальными из них является *система* — множество элементов вместе с отношениями между этими элементами и признаками. В качестве элементов рассматриваются компоненты или части системы, а в качестве *признаков* — свойства этих элементов (компонентов). Отношения объединяют предметы системы в нечто целое. И именно тот факт, что в системе существует много видов отношений (причинных, логических, случайных и т. д.), делает полезным рассмотрение понятия системы.

Систему можно определить и как множество входов, выходов и состояний:

$$S = (e, ST, BE, E); S = (X, G, S, \delta, \lambda),$$

где  $e$  — элементы;

$ST$  — структуры;

$BE$  — поведение;

$E$  — среда (окружение);

$X$  — входы;

$G$  — выходы;

$S$  — состояние;

$\delta$  — функции переходов;

$\lambda$  — функции выходов.

Элементами системы человек-машина могут быть:

- реальные объекты (вещество, энергии и др.), т. е. все то, что воспринимается или регистрируется с помощью специальной аппаратуры или органов чувств;
- информация — совокупность сведений о состоянии элементов и системы в целом;
- объекты сознания (психика) — представления в сознании о поведении чего-либо.

Состояние элементов (статическое, динамическое, переходное):

$\vec{U}_\phi = \vec{U}_\phi(U_1; U_2; U_3; \dots U_n)$  — вектор фактического состояния системы;

$\vec{U}_\text{ж} = \vec{U}_\text{ж}(U_1^*; U_2^*; U_3^*; \dots U_n^*)$  — вектор желаемого состояния системы;

$U_\text{ус} = U_\text{ус}(U_\text{ус1}; U_\text{ус2}; U_\text{ус3}; \dots U_\text{усn})$  — вектор условий;

$\vec{U}_\text{ув} = \vec{U}_\text{ув}(U_\text{ув1}; U_\text{ув2}; U_\text{ув3}; \dots U_\text{увл})$  — вектор управления системой.

Ограничения системы также характеризуется некоторой совокупностью параметров;

$\vec{U}_\text{огр} = \vec{U}_\text{огр}(U_\text{огр1}; U_\text{огр2}; U_\text{огр3}; \dots U_\text{огрn})_1$  — вектор ограничений.

Система находится в статическом состоянии, если вектор фактического состояния системы равен вектору желаемого состояния, значения параметров, характеризующих вектор управления, равны нулю, и значения производных от параметров, характеризующих вектор условий, также равны нулю.

Система находится в динамическом состоянии, если непрерывно изменяются вектор фактического состояния, или вектор желаемого состояния, или вектор условий (или все вместе), и непрерывно вырабатывается вектор управления системой.

Железнодорожный транспорт — это система, находящаяся всегда в динамическом состоянии. Важной категорией системотехники является понятие *о к р у ж е н и я* системы — множества предметов вне системы. К окружению относятся только те предметы:

- изменение признаков которых влияет на систему;
- признаки которых изменяются вследствие поведения системы.

Следует отметить, что под окружением здесь понимаются не только материальные предметы и явления, но и социальные, экономические, политические и прочие факторы. Таким образом, и люди, управляющие технической системой, могут быть отнесены к ее окружению. При этом граница между системой и окружением является чисто условной, поскольку при иной постановке задачи множество самой системы может быть расширено, и те элементы, которые ранее относились к окружению, становятся ее компонентами. В подобном случае и человек может рассматриваться как компонент системы. Поэтому множество системы и множество ее окружения должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от решаемой задачи. Теперь определим наиболее существенные показатели и свойства систем:

1. *Организационно-структурные показатели систем:*

- состав системы;
- размещение элементов системы;
- средства, используемые в различных элементах системы;
- характер связей между различными элементами системы;
- резервирование различных элементов системы;
- средства, используемые для защиты элементов системы.

Рассмотрим сущность и содержание основных организационно-структурных показателей системы.

*Состав системы* определяется совокупностью ее элементов и отношений между ними.

Показателями, характеризующими состав системы, являются: количество элементов, входящих в систему управления; элементная база; функ-

ции каждого элемента системы; характеристики отношений между элементами системы.

Показателями, определяющими *характер и качество связей между элементами* системы, являются: количество каналов связи; помехозащищенность каналов связи; пропускная способность каналов связи между элементами системы. Эти показатели используются для оценки функциональных состояний системы.

**2. Пространственные показатели систем:** размеры системы, подсистем и элементов, пространства, в котором функционируют размеры пространства, в пределах которого распространяются свойства системы: тепловое, световое и др.

Обобщенным показателем пространственных возможностей системы (например, системы управления) является вероятность нахождения объекта управления в интегральной области управления. Для случая, если параметры, влияющие на эту вероятность, подчинены нормальному закону, ее значение может быть определено так:

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^n \left[ 1 - 0,5 \left[ 1 + \Phi \left( \frac{D_i - D_{\text{ср}i}}{\sigma_{Di}} \right) \right] \right],$$

где  $n$  — количество элементов системы, с которых может осуществляться воздействие в данной точке пространства;

$D_i$  — максимальное удаление, на котором может находиться объект управления от  $i$ -го элемента системы;

$D_{\text{ср}i}$  — среднее удаление границы поля  $i$ -го элемента;

$\sigma_{Di}$  — среднее квадратическое отклонение ошибки определения этого удаления.

Оценки пространственных показателей имеют очень большое значение практически для всех видов систем. Пространственные показатели могут характеризовать сферы влияния систем, условия взаимодействия с другими системами, условия совместного функционирования и др.

**3. Временные показатели систем:**

- время начала и окончания функционирования системы;
- продолжительность функционирования системы;
- время перехода системы из одного состояния в другое;
- время протекания отдельных процессов в системе.

Временными показателями возможностей системы управления являются:

- продолжительность выполнения работ при осуществлении управленческих функций;

- время развертывания системы;
- время функционирования системы;
- время начала и окончания управления;
- частота управляющих воздействий;
- цикл управления.

Для оценки временных показателей возможностей системы может быть использован критерий, сущность которого состоит в определении вероятности события, состоящего в том, что фактическое время выполнения работы (мероприятия) —  $t_\Sigma$  будет не больше заданного  $t_3$ . Если параметры, влияющие на эту вероятность, подчинены нормальному закону, ее значение может быть определено так:

$$P_t = (t_\Sigma \leq t_3) = 0,5 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{t_3 - t_\Sigma}{\sigma_{t_\Sigma}} \right) \right],$$

где  $\sigma_{t_\Sigma}$  — среднее квадратичное отклонение суммарной ошибки фактического и заданного времени выполнения работ (мероприятий), осуществляемых последовательно, параллельно или же с временем задержки. В этом случае время между исходным и завершающим событием равно сумме времени выполнения работ (мероприятий), находящихся на критическом пути, который может быть определен с помощью метода сетевого планирования и управления.

Важное решение при системотехническом проектировании имеют такие свойства систем, как эквифинальность и робастность.

*Эквифинальность* системы (*equifinality*) — свойство системы приходить в некоторое состояние, определяемое лишь ее собственной структурой, независимо от начального состояния и изменений среды. Это динамическое свойство системы, осуществляющей переход из различных начальных состояний в одно и то же конечное состояние. Оно состоит в том, что при определенной системе управления, контроля и планирования процессов и сфер деятельности влияние отдельных внутренних или внешних факторов не способно в корне изменить поступательный характер результативности производимых работ.

*Робастность* системы (от англ. *robust* — крепкий, сильный) — способность сохранить частичную работоспособность сложной системы при отказе отдельных элементов или подсистем.

Робастность сложной системы обеспечивается функциональной избыточностью или неизбыточностью связей между элементами.

Например, человеческий мозг как сложная система обладает свойством робастности. Если несколько элементов (нервных клеток) погибает, то мозг будет продолжать функционировать за счет того, что нервные клетки имеют избыточные связи между собой.

При организации каналов передачи важных сообщений используется «горячее» резервирование, суть которого состоит в одновременной работе как основного, так и резервных каналов передачи информации. При отказе в работе основного канала тут же происходит переход на один из резервных каналов. «Горячее» резервирование используется при ретрансляции телевизионных сигналов, космической связи бортового оборудования самолетов, космических станций и т. д. «Горячее» резервирование обеспечивает системе обработки информации свойства робастности.

Всякая система допускает подразделение на *подсистемы*. Так, в системе «человек-машина» можно выделить две подсистемы: «человек» и «машина». В таком случае подсистема «машина» может рассматриваться как окружение подсистемы «человек» или наоборот. И вся система «человек-машина» может расцениваться как подсистема более крупной системы или как ее окружение.

Основную задачу системотехнического проектирования можно определить как нахождение способа оптимального согласования *входов* и *выходов* системы. Для этого требуется выявить все входы и выходы рассматриваемой системы и, используя известные преобразования и передаточные функции, установить соответствующие связи между множеством ее входов и множеством выходов. Если такую задачу не удастся решить посредством одного преобразования, то система делится на соответствующие подсистемы и предпринимаются попытки ее решения посредством ряда преобразований (ряда передаточных функций) в нескольких подсистемах.

Входы и выходы системы, а также ее подсистем группируются по признакам — несут ли они *информацию, энергию, материалы*. Отметим, что при проектировании системы важно предусматривать совместимость между выходом одной подсистемы и связанным с ним входом другой не только по характеру сигнала, но и по прочим показателям (форме, диапазону и т. п.).

Системы характеризуются и степенью их целостности (*когерентности*). Система является когерентной, если каждая ее часть оказывается связанной с другой ее частью таким образом, что изменение в одной части вызывает изменения во всех остальных ее частях и во всей системе. В этом смысле другой крайностью являются системы с независимым поведением их частей, где изменения в каждой части происходят независимо, а общее изменение в системе равно физической сумме изменений в отдельных ее частях.

Системы оцениваются также по степени *иерархической упорядоченности*, т. е. с точки зрения подчиненности не только самих подсистем, но и их планов и целей. Можно расценивать системы и по степени их *централизованности*, т. е. по наличию в них ведущей подсистемы, играющей доминирующую роль среди остальных. Определение ведущей подсистемы осуществляется исходя из конкретных условий решаемой задачи.

В приведенном кратком обзоре понятий системотехники были выделены характеристики, которые имеют только прямое отношение к рассматриваемому в настоящей главе вопросу проектирования систем «человек-машина». Исходя из этих понятий уже можно заключить, что подобные системы отличаются высокой целостностью, иерархической упорядоченностью и централизованностью, эквифинальностью, робастностью.

Наконец, хотелось обратить внимание на закон развития систем или *историчность*. Очевидно, что любая система не должна быть неизменной, что она не только функционирует, но и развивается. Можно привести примеры становления, расцвета, упадка и даже смерти биологических и общественных систем, но все же для конкретных случаев развития организационных и технических систем трудно определить эти периоды.

Не всегда даже руководители организаций и конструкторы сложных технических комплексов учитывают, что *время* является неперменной характеристикой системы, что каждая система *исторична* и что это такая же закономерность, как целостность, интегративность и др. Известна и основа закономерности историчности — внутренние противоречия между компонентами системы.

Но вот как управлять развитием или хотя бы понимать приближение соответствующего периода развития системы — эти вопросы еще мало исследованы.

В последнее время на необходимость учета закономерности историчности начинают обращать все больше внимания. В частности, в системотехнике при создании сложных технических комплексов требуют, чтобы уже на стадии проектирования системы рассматривались не только вопросы создания и обеспечения развития системы, но и вопрос, как и когда нужно ее уничтожить (возможно, предусмотрев и механизм уничтожения системы, подобно тому, как мы предусматриваем механизмы развития системы).

## 5.2. Современные эргономические подходы к проектированию систем «человек-машина»

### 5.2.1. Общие принципы

При анализе проблемы создания современной системы «человек-машина» на транспорте можно выделить в виде отдельных аспектов следующие задачи:

- техническое проектирование;
- инженерно-психологическое проектирование;
- художественное проектирование.

С точки зрения изложенного выше системотехнического подхода такое разделение проблемы проектирования системы следует понимать как чисто условное, поскольку эти задачи тесно связаны между собой. Если в теоретическом плане, при соответствующих допущениях, в какой-то мере еще возможно рассматривать эти аспекты отдельно, то в практическом приложении приходится вести речь о *едином процессе системотехнического проектирования*.

Такое проектирование, как было показано, уже по своей сущности основано на учете различных человеческих потребностей. Даже при проектировании «чисто» технической системы, действующей автоматически, т. е. довольно независимо от человека, приходится учитывать, в какой мере она будет удовлетворять человека как средство его труда по стоимости и многим другим критериям. При создании же систем «человек-машина», в которых человек выступает как компонент системы (обычно ведущий), объем и широта требований, вытекающих из потребностей человека, существенно возрастают. Учесть всю эту сложную совокупность требований человека, управляющего системой, в сочетании с требованиями технического, экономического и прочих порядков, возможно в наше время только при посредстве методов системотехники.

Следует отметить, что проблема макрофакторов в больших системах в настоящее время присутствует во многих зарубежных исследованиях, причем их теоретической основой являются такие концепции, как социально ориентированного проектирования, культуры автоматизации, культуры безопасности. Большинство из этих концепций не получили своего методического развития и подкрепления. И, пожалуй, основной причиной этого явилось рассмотрение техники в общем, абстрактном виде и в связи с этим направленность на формирование одного универсального подхода. Исторически в эргономике и инженерной психологии, если можно считать за историю 40–50-летний период ее существования, сложилось несколько основных методологических подходов к проектированию человеко-машинных систем и решению проблем

автоматизации. Обстоятельный обзор этих подходов и концепций, их определяющих, изложен в монографии Ю. А. Голикова и А. Н. Костина [6], поэтому мы только кратко остановимся на наиболее существенных из них для проектирования больших транспортных систем.

Первый класс — это класс технократических концепций, характеризующий направленностью на технический объект и систему человек-машина и получивший в свое время название машиноцентрического подхода к проектированию СЧМ. Наиболее существенная особенность этого подхода — акцент на применении инженерных методов теорий автоматического регулирования, надежности информации для оценки пропускной способности, скорости переработки информации, параметров передаточной функции.

Дальнейшее развитие этого подхода, и прежде всего используемых научных методов, направлено на решение проблем целостного описания СЧМ, согласования и интеграции ее технических и человеческих компонентов, нахождение оптимальных форм взаимодействия человека и техники.

В противовес этому, гипертрофируя роль человека в технических системах, В. Я. Дубровский и Л. П. Щедровицкий [7] высказали мнение, что уже сама специфика человеческой деятельности препятствует тому, чтобы человек с точки зрения принципов системотехники мог рассматриваться как компонент системы. Если технический компонент системы правомерно расценивать как обычный преобразователь входных сигналов в выходные, то приложение такого подхода к человеку они считают неприемлемым.

Свою точку зрения они обосновывают следующими аргументами. Человек является рефлексивным компонентом системы, отражающим в сознании как машинные компоненты, так и действие всей системы. Целью его деятельности является направление системы на заданный результат. К тому же действия человека оказываются обусловленными социальными, экономическими, политическими и многими другими мотивами, т. е. кроме обычных входных сигналов у человека, как компонента системы, существует значительное количество отраженных в памяти, в его сознании данных, которые определяют выходные сигналы этого компонента.

На основании этих положений В. Я. Дубровский и Л. П. Щедровицкий приходят к выводу о необходимости создания принципиально иного подхода к проектированию систем «человек-машина», который исходил бы из положения, что человек в системе управления не функционирует, подобно машинным компонентам, а действует в соответствии с целями и мотивами и вытекающими из них планами. Следовательно, систему «человек-машина» нужно расценивать как систему особого типа — как систему деятельности. Исходя из этого,



авторы приходят к заключению, что следует *проектировать* не систему «человек-машина», а *систему деятельности человека-оператора*.

Дальнейшее развитие этих взглядов выразилось в целой концепции эргономического проектирования и культурно-нормативном подходе. В них, основываясь на гиперболизации содержания понятия «деятельность», утверждает-ся, что «человеческая деятельность» должна рассматриваться не как атрибут отдельного человека, а как исходная универсальная целостность, значительно более широкая, чем сами люди; любая же «производственная система — как форма организации этой деятельности» [12].

Такая концепция о тотальности и универсальности содержания деятельности, ее первичности в процессе проектирования технических объектов совершенно справедливо критикуется Ю. А. Голиковым и А. Н. Костиным. Более того, замена машиноцентрического и антропоцентрического подходов одним «деятельностно-центрическим», на наш взгляд, не только не является гарантией решения проблем автоматизации, но способствует развитию противоречий между позициями разработчиков техники и специалистов по человеческому фактору, так как разработчики техники в процессе ее проектирования руководствуются методами системотехники.

Указывая на практическое превосходство принципа проектирования, основанного на системотехническом подходе, как отмечал М. А. Котик [8], и в теоретическом плане, нет убедительных оснований считать его недостаточно пригодным для человеко-машинного проектирования. Единственное возражение против применения этого подхода было основано на своеобразии человека как компонента системы. Способность человека отражать состояние системы и, в зависимости от него, изменять свои характеристики, способность его руководствоваться заданной программой действительно составляют своеобразие человеческого компонента. Однако в настоящее время созданы самоорганизующиеся машины, способные к воспроизведению адаптивного поведения, и разрабатываются методы системотехники, позволяющие учитывать при проектировании таких машин их способности к самоорганизации. Очевидно, подобные методы открывают возможности использования принципов системотехники и для приближенного учета некоторых способностей человека к саморегуляции в системе управления. Таким образом, есть все основания считать, что методы системотехники и принцип распределения функций применимы к системам «человек-машина».

Вместе с этим следует признать, что при проектировании таких систем необходимо учитывать определенные трудности, возникающие при приложении системотехнического метода для проектирования системы «человек-машина»,

вытекающих не из самого метода, а из недостатка знаний о закономерностях деятельности человека в системе управления.

Системотехнические методы основаны на использовании количественных описаний действия отдельных элементов системы и их взаимосвязей. Однако поскольку подобные описания для действий человека часто отсутствуют или являются очень приближенными, то это обстоятельство ведет к тому, что человека начинают рассматривать не как компонент системы (требующий таких же точных описаний, какие имеют технические компоненты), а как элемент окружения (здесь можно ограничиться лишь общими данными). Исходя из этого вытекает ограниченность возможностей приложения в настоящее время обычных методов системотехнического проектирования к рассматриваемой категории систем. Поэтому предпринимаются попытки создания специальных методик, позволяющих использовать при проектировании систем «человек-машина» наряду с количественными критериями также и качественные описания деятельности человека в таких системах управления.

Так сложился подход к проектированию систем «человек-машина», основанный на *распределении функций* между компонентами системы.

#### 5.2.2. *Распределение функций в системе «человек-машина»*

Одной из наиболее существенных причин, породивших инженерную психологию, было появление машин, способных выполнять некоторые интеллектуальные человеческие функции (мышления, управления, организации). Это обстоятельство привело к тому, что в целом ряде задач возможности человека и машины в современной системе стали соизмеримы, в связи с чем возникла проблема распределения функций между человеком и машиной. Вместе с тем были выделены существенные различия между человеком и машиной как компонентами системы, показывающими, что проблема распределения функций должна рассматриваться и как техническая, и как психологическая. На современном этапе, когда в основе производства и транспорта стали системы или комплексы машин, оптимальные распределения функций рассматриваются как распределение функций контроля и управления. Особенности этих систем — средства автоматизации со все более высокой степенью интеллектуализации.

Именно тенденции на повышение степени автоматизации процессов управления, как отмечал Г. Л. Смолян, обязано появление ключевой проблемы в обе-

спечении надежности и эффективности техники — распределения функций между человеком и автоматикой.

Как отмечал М. А. Котик [8], в этой проблеме тесно переплелось большое число существенных человеческих и машинных факторов, которые необходимо учитывать при проектировании систем «человек-машина». Вероятно, поэтому данная проблема оказалось той базой, на основе которой стали разрабатываться методы системотехнического проектирования подобных систем. Принципы и способы решения этой, по словам Н. Винера (N. Wiener), одной из великих проблем испытали значительную эволюцию. Одним из первых вариантов ее решения стал принцип *преимущественных возможностей*, первоначально разработанный в работах К. Крейка (K. J. W. Craik), П. Фиттса (P. M. Fitts), А. Чапаниса (A. Chapanis). Суть принципа заключается в том, что функции человеку и автоматике должны назначаться в зависимости от того, чьи преимущества будут лучше использоваться при выполнении задачи управления. Инструментом распределения функций являлись созданные перечни их сравнительных возможностей для различных задач, показателей процессов управления и даже параметров экономической эффективности. Различные модификации указанного принципа применяются и в более поздних исследованиях, в частности в работах Д. Мейстера (D. Meister) и Г. Прайса (H. Price).

Перечни мы приводить не будем, ознакомиться с ними можно по литературе [8, 11]. И хотя в подобных перечнях указывались довольно очевидные факты, они все же представляли собой определенную методологически обоснованную систему, которая позволяла осуществлять выбор и принимать проектные решения с учетом целого ряда существенных факторов.

В последующие годы сформировался ряд вполне определенных критериев распределения функций между человеком и машиной, которые используются при проектировании сложных систем и оправдали себя на практике. Среди этих критериев выделим максимизацию показателей системы «человек-машина», т. е. такое распределение функций, при котором достигается высокий результат их совместного действия в системе. Принцип основан на положении, по которому человек и машина в системе управления выступают как союзники, и действия их направлены на достижение общей цели. При реализации данного принципа также требуется предварительный выбор показателей, которые затем максимизируются. Систему можно оценивать по единому составному показателю — линейной комбинации некоторых частных вида

$$W = \sum_{i=1}^n a_i K_i,$$

где  $K_i$  — оценки по частным показателям;

$a_i$  — коэффициенты, характеризующие относительную значимость частных показателей в оптимальном распределении функций.

В число частных оценок обычно входят показатели качества и надежности работы системы, ее себестоимости, удовлетворенности оператора и др.

Д. Мейстер и Дж. Рабидо [9] указывают, что эти критерии зачастую избирают сами разработчики, причем руководствуясь не соображениями выгод системы, а удобством проектирования. По мнению авторов, наиболее существенными критериями, по которым следует вести проектирование, являются «достижение максимального уровня тактико-технических данных с минимальными затратами времени и средств». Именно на достижение компромиссного решения, дающего оптимальную комбинацию этих переменных, и должно быть направлено, по мнению авторов, распределение функций между человеком и машиной.

Среди этих частных показателей особый интерес в контексте нашего исследования — распределения функций — имеет степень автоматизации СЧМ, которая характеризует относительное количество информации, перерабатываемой автоматическими устройствами. Эта величина определяется по формуле

$$K_a = 1 - \frac{H_{\text{оп}}}{H_{\text{счм}}},$$

где  $H_{\text{оп}}$  — количество информации, перерабатываемой оператором;

$H_{\text{счм}}$  — общее количество информации в СЧМ.

Для каждой СЧМ существует некоторая оптимальная степень автоматизации [11], при которой эффективность СЧМ становится максимальной. При этом чем сложнее СЧМ, тем больше потери эффективности из-за неправильного выбора степени автоматизации. Это видно из сравнения кривых 1 и 2 на рис. 5.1. Оптимальная степень автоматизации устанавливается в процессе решения задачи распределения функций.

Следует также отметить, что эта проблема существует только в сфере информационных процессов (где показатели человека и машины соизмеримы). Распределение же функций с точки зрения энергетических затрат решается сравнительно просто: за человеком оставляют такие двигательные задачи, которые не перегружают его и в то же время создают необходимый уровень активности и подвижности.

Распределение функций между человеком и машиной осуществляется на ранних стадиях проектирования, когда отсутствует большинство данных о работе системы и о деятельности в ней человека. К тому же необходимые для этого

характеристики в свою очередь зависят от избранного варианта распределений функций. Поэтому распределение функций оказывается *многошаговым процессом*, включающим в себя этап предварительного распределения и ряд последовательных коррекций этого варианта, осуществляемых уже по ходу дальнейшего проектирования.

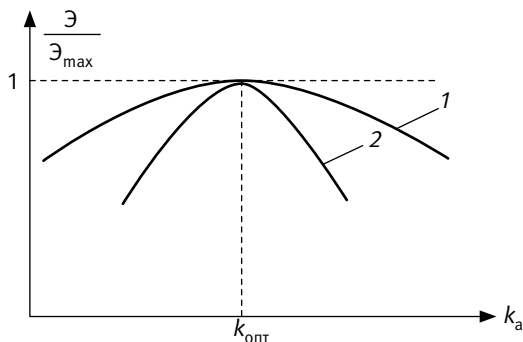


Рис. 5.1. Зависимость эффективности СЧМ от степени автоматизации:  
1 — для простых систем; 2 — для сложных систем

В эргономике сложилась определенная методика предварительного распределения функций между человеком и машиной, основанная на качественных критериях. Рассмотрим ее последовательность.

1. *Определение назначения системы*, формирование ее целей и перечня разрешаемых ею задач. Проектируемую систему представляют в виде преобразователя входной информации, поступающей в систему, в соответствующие выходные сигналы, отвечающие ее назначению и требованиям задачи. На этом этапе рассматриваются входные сигналы будущей системы и принципы их преобразования в требуемые выходные сигналы. Оцениваются вероятности появления в системе различных задач и способов преобразования информации.

2. Непосредственное распределение функций начинается с *отбора отдельных функций для машины*, в основу которого берется следующий принцип: те задачи, которые в настоящее время выполняются машиной с требуемым качеством при приемлемой стоимости и габаритах, сохранить и в проектируемой системе за машиной.

3. Все *остальные задачи*, которые предстоит выполнять системе, *ранжируются* по следующим наиболее существенным характеристикам (одной или нескольким):

- количеству признаков выполнения каждой задачи при разных условиях деятельности;

- количеству возможных вариантов решения задачи при различных условиях ее выполнения;
- достоверности информации, используемой при решении задачи;
- вероятность появления данной задачи;
- логической или вычислительной сложности разрешения задачи и др.

4. Распределение оставшихся задач осуществляется по следующему принципу: задачи, разрешаемые с учетом многих признаков, имеющие много *вариантов решений*, отличающиеся высокой *неопределенностью* информации, незначительной *логической и вычислительной сложностью*, целесообразно предварительно поручать человеку. Задачи противоположных свойств возлагаются на машину.

Поскольку возможности человека и машины обусловлены не только отдельными задачами, но и всей совокупностью возложенных на них заданий, то следует принимать во внимание и общую загрузку оператора и машины при избранном варианте распределения функций, учитывать возникающие при этом условия деятельности (особенно информационное обеспечение и пропускную способность информации). Степень загрузки оператора и машины в таких случаях проверяется посредством специального моделирования ожидаемых условий работы, попутно оцениваются и возможности машины по выполнению порученных ей функций. По результатам проверок осуществляется уточнение выбранного распределения.

Подобный метод распределения функций, как уже отмечалось, является лишь предварительным, поскольку он не определяет полностью окончательного варианта такого распределения, однако способствует сокращению поиска оптимального варианта. Блок-схема, иллюстрирующая описанную последовательность предварительного распределения функций между человеком и машиной, представлена на рис. 5.2.

В противовес принципу преимущественных возможностей Н. Джорданом был выдвинут принцип *взаимодополняемости человека и машины*. Согласно данному принципу, необходимо не распределять функции, а организовывать совместную деятельность человека и машины таким образом, чтобы происходило взаимное усиление их функций. По мнению Н. Джордана, машины могут служить человеку двумя способами: как орудия труда и как производящие машины, то есть функционирующие автоматически. В первом случае взаимодополняемость будет выражаться в обеспечении оптимальной трудности деятельности, во втором — в резервировании, дублировании человеком машины при возникновении отказов в ее работе посредством перехода на ручной режим управления. В то же время ответственность за выполнение процессов управления во всех

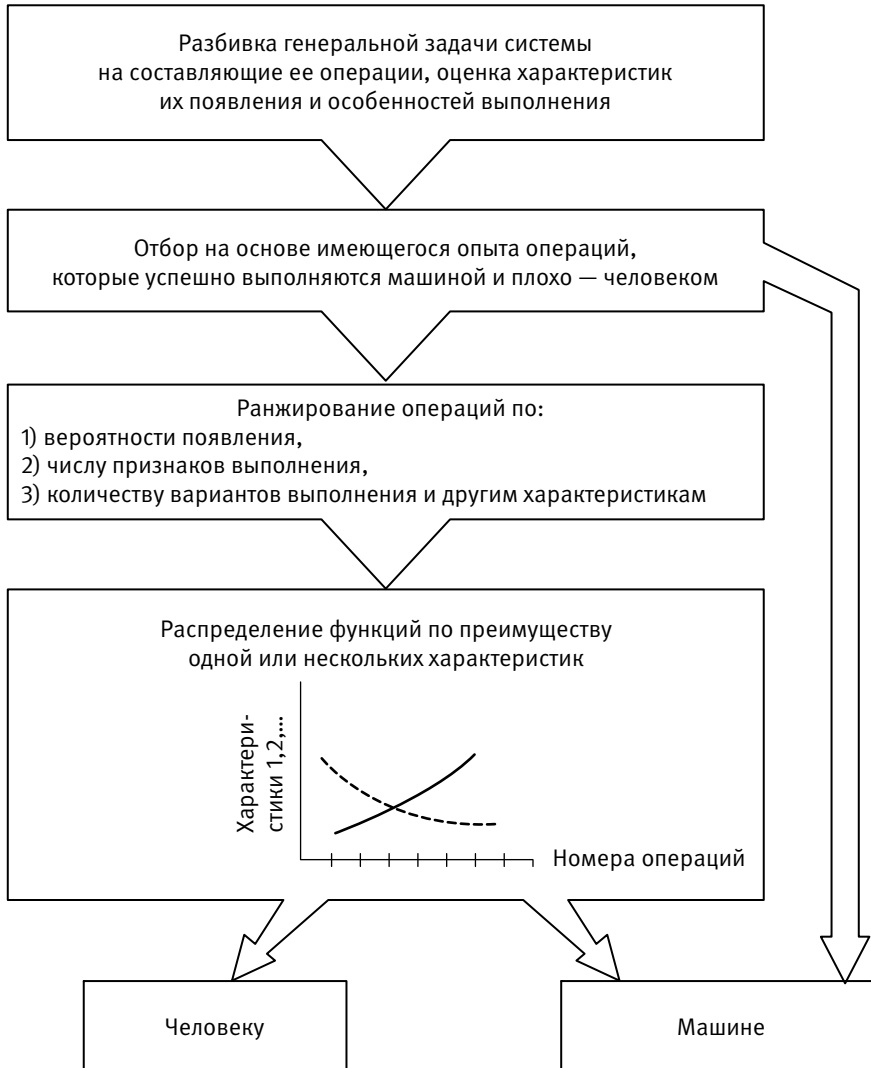


Рис. 5.2. Последовательность предварительного распределения функций между человеком и машиной на преимущественных возможностях

случаях должна возлагаться на человека, а не на машину. *Взаимное дополнение предполагает резервирование человека и машины.* Для решения отдельных задач предполагается совместное использование возможностей человека и машины, а при необходимости и перераспределение между ними отдельных функций непосредственно в ходе работы. Благодаря этому можно улучшить работу системы не только по выбранным показателям, характеризующим ее качество,

но и по ряду других параметров, которыми приходилось пренебрегать, если в данной функции предпочтение отдавалось человеку или машине. Дополнение функций машины возможностями человека — средство компенсации недостатков жесткого распределения функций по отдельным (частным) показателям. Развитие и использование средств контроля за показателями жизнедеятельности человека-оператора позволит разрабатывать адаптивные системы, в которых возможны автоматическое устранение ошибочных действий человека, его резервирования и др. Проблемы резервирования человеком автоматике и ответственности во многом решает принцип активного оператора, разработанный Н. Д. Заваловой, Б. Ф. Ломовым и В. А. Пономаренко, который исходит из положения о том, что человеку свойственно стремление к активному самопроявлению в деятельности, к самоутверждению на основе результатов своего труда. Данный принцип, безусловно, не вытекает логически из принципа взаимодополняемости, но развивает его идейно. Как следует из названия, сам принцип определяет необходимость поддержания некоторого уровня активности оператора в автоматизированных режимах управления в связи с тем, что человек, работая, всегда имеет в виду конечную цель управления и активно к ней стремится. Пассивность оператора при полной автоматизации приводит к тому, что он не может надежно выполнить функцию резервирования автоматике. Кроме того, снижение уровня активности у операторов при длительном использовании автоматического режима может привести к ошибочным решениям о несуществующих неисправностях и отключению нормально работающей автоматике либо к задержкам при опознании реальных отказов и переходе к ручному управлению. Приведенные факты были выявлены авторами экспериментально при исследовании деятельности летчика в режиме автоматизированной посадки. Исходя из принципа активного оператора, степень автоматизации необходимо выбирать таким образом, чтобы оператор осуществлял непрерывный контроль процессов управления по информации, обеспечиваемой автоматикой, и часть операций по управлению выполнял самостоятельно. Следствием указанного принципа фактически является признание нецелесообразности использования, а значит, и разработки полностью автоматических режимов, и предпочтительность полуавтоматического управления.

Наибольшую эффективность от использования принципа активного оператора и удалось достичь именно в авиации. Так, М. М. Сильвестровым, Л. М. Козиоровым и В. А. Пономаренко были разработаны различные варианты полуавтоматических режимов управления: директорное, совмещенное и комбинированное. Как отмечают Ю. А. Голиков и А. Н. Костин [6], к теоретическим достоинствам принципа активного оператора следует отнести введение в про-



цесс решения проблемы распределения функций нового понятия — активность человека-оператора. На его основе разработано требование к выбору оптимальной степени автоматизации, заключающееся в необходимости реализации полуавтоматических режимов управления, что обеспечивает надежное выполнение оператором функции резервирования техники.

Однако, несмотря на общепризнанные теоретические достоинства, данный принцип не был достаточно широко реализован в других помимо авиации областях техники. Низкая эффективность его использования связана прежде всего с неопределенностью выбора средств обеспечения активности в разных видах операторской деятельности.

Так как деятельность операторов большинства технических комплексов связана с управлением дискретного типа, то есть выдачей команд или переключением различных тумблеров, средством обеспечения активности в такой деятельности может быть выдача оператором части команд управления вручную также в полуавтоматическом режиме. Исходя из этого, Ю. А. Голиков и А. Н. Костин предлагают новый, по их мнению, принцип решения проблемы распределения функций — *принцип взаимного резервирования оператора и автоматики*. Суть этого принципа сводится к тому, что оператор резервирует автоматику (в случае возникновения отказов техники или непредвиденных ситуаций) посредством самостоятельного снижения степени автоматизации; автоматика резервирует оператора (при возникновении в его деятельности серьезной субъективной сложности) путем принудительного повышения степени автоматизации процессов управления. Из этого принципа следует, что полуавтоматические режимы должны являться основным, а автоматические и ручные — рассматриваться как резервные для страховки оператора и автоматики соответственно.

Кроме качественных, существуют и *количественные методы* распределения функций. Один из таких методов основан на анализе и оценке возможностей системы выполнять возложенную на нее генеральную функцию (вытекающую из ее главного назначения). Для выполнения генеральной функции (задачи наиболее высокого уровня) должны быть выполнены частные задачи управления. Выполнение каждой частной задачи осуществляется посредством ряда блоков операций, каждый из которых включает в себя базисные операции (наименьшие наблюдаемые элементы деятельности оператора, элементарные технологические операции). Применительно к деятельности оператора рассматриваются еще более мелкие — психологические операции.

Таким образом, удастся разделить процесс разрешения системой генеральной задачи на ряд уровней: уровень частных задач, уровень блоков операций,

уровень базисных и уровень психологических операций. Сущность рассматриваемого метода заключается в анализе распределения потоков частных задач, потоков блоков операций между различными операторами, между каждым оператором и машиной, а также распределения потоков психологических операций в деятельности операторов. При таком анализе используется математический аппарат теории массового обслуживания, теории расписаний, теории графов и др. По ходу анализа оцениваются показатели продолжительности, точности и надежности действия операторов и машины в зависимости от потоков разрешаемых задач и операций. Данные о целесообразности выбранного варианта распределения функций определяются методами статистического моделирования на цифровых вычислительных машинах.

Описанный метод может служить иллюстрацией применения системотехнического подхода к решению задач проектирования систем «человек-машина». Правда, в данном случае конструктивное решение выбирается только по критерию обеспечения наилучшего результата решения системой генеральной задачи. Однако в схему описанного анализа не сложно включить и критерий стоимости системы, удовлетворенности оператора и пр. В таком случае можно уже получить оценку распределения функций с точки зрения ее оптимальности по комплексу избранных критериев.

Кроме изложенного, существуют и другие количественные методы распределения функций между человеком и машиной, в основу которых положено сопоставление надежности, временных, информационных и других показателей работы человека и машины.

Одной из особенностей современной методологии является разработка принципов взаимной (встречной) адаптации человека и машины как партнеров по информационному взаимодействию. Если ранее психологические вопросы адаптации человека к машине решались профессиональным отбором и обучением в психологии труда, а вопросы адаптации машины к человеку, независимо от первых, — в инженерной психологии, то теперь делается попытка на основе системного подхода соединить воедино решение этих задач.

За рубежом идеи адаптивного распределения функций развиваются В. Роузом (W. Rouse) и его последователями. Общим для них является положение о зависимости степени автоматизации процессов управления от величины когнитивной или умственной загрузки (workload) оператора. Считается необходимым снижение степени автоматизации при малой величине загрузки и увеличение степени автоматизации при ее высокой величине. Концепциям адаптации человека и машины близки положения принципа динамического распределения функций Б. Кантовица (B. Kantowitz) и Р. Соркина (R. Sorkin).

Нам представляется, что принцип взаимной адаптации компонентов (элементов) системы должен рассматриваться наряду с многоуровневостью, многосвязностью, динамичностью, детерминированностью, развитием в качестве одного из основных принципов теории систем, поскольку возникновение, развитие, функционирование любой системы возможно лишь при условии взаимной адаптации составляющих ее компонентов.

Взаимная адаптация человека и машины анализируется и осуществляется на разных уровнях в зависимости от требуемой и экономически целесообразной точности взаимного соответствия человека и машины. Сейчас уже нельзя ориентироваться только на среднестатистического человека, как делалось недавно во всех справочниках по инженерной психологии. Наряду с таким уровнем общего усреднения и основанного на этом приспособлении машины к человеку, который можно назвать тотальной адаптацией, необходимо изучать статистические свойства психологических параметров контингента людей, работающих в изучаемых системах человек-машина. Это уровень контингентной адаптации. Далее, в контингенте должны быть выделены типологические группы, существенно различающиеся по профессионально важным психологическим характеристикам. Соответствующая этим данным групповая адаптация направлена на повышение эффективности (снижение сложности, субъективной трудности) работы представителей каждой из типологических групп.

Наконец, применение вычислительной техники позволяет выдвинуть проблему индивидуальной адаптации характеристик информационной системы к отдельному пользователю.

В дальнейшем для особо ответственных условий труда и функций человека-оператора предлагается еще и индивидуально-оперативная адаптация, связанная с учетом конкретного состояния человека при уточнении распределения функций между ним и автоматическими управляющими устройствами.

Первоначально распределение функций между человеком и автоматической рассматривалось как самостоятельная проблема. В то же время изложенные в данном разделе принципы распределения функций можно сопоставить с требованиями машиноцентрического или антропоцентрического подходов к автоматизации.

Сравнимость человека и техники, необходимость их описания на одном языке, лежащие в основе принципа преимущественных возможностей, являются свидетельством использования идеологии машиноцентрического подхода, когда человек рассматривается как техническое звено системы. Принцип взаимодополняемости, выдвигающий на первое место проблемы ответственности

человека за процесс управления и резервирования им автоматики, наоборот, косвенно опирается на положения антропоцентрического подхода, определяющего человека как субъекта труда, а технику как орудие труда. Из этого же подхода уже непосредственно вытекают принципы активного оператора и необходимости сохранения целостности структуры деятельности.

Авторы концепций адаптации человека и машины также относят их к антропоцентрическому подходу. Однако обоснованность такого отнесения проблематична, так как в данных концепциях, как считают Ю. А. Голиков и А. Н. Костин [43], остается открытым главный вопрос в распределении функций — вопрос об ответственности. Если исходить из антропоцентрического подхода, то ответственность за надежность и эффективность управления несет оператор, и он должен всегда в нем доминировать. Но в процессе адаптации машины к человеку в случае возрастания степени автоматизации его роль в управлении неизбежно должна снижаться. В предельном случае при переходе на полностью автоматический режим оператор исключается из управления и в принципе не может нести какой-либо ответственности за управление, что противоречит антропоцентрическому подходу.

### **Характеристики больших систем**

После того как мы определили основные понятия и свойства систем, разберем, чем характеризуются большие системы.

Гуд и Маккол выделяют следующие черты систем большого масштаба:

1. Определенная целостность или единство системы — наличие у всей системы какой-то общей цели, общего назначения. Например, вся электростанция предназначена для выработки электроэнергии, весь железнодорожный узел предназначен для различных операций с вагонами и поездами. Общая цель всей системы как единого целого предполагает, что все ее подразделения — цехи, службы и т. д. — функционируют лишь как составная часть этого целого, все их усилия направлены на обеспечение главной цели системы.

2. Большие размеры системы. Система большого масштаба является большой и по числу частей, и по числу выполняемых ее различными подразделениями и элементами функций, и по своей абсолютной стоимости. Величина этой системы и число составляющих ее элементов, как правило, на практике действительно характеризует реальные большие системы. Однако можно предположить, что могут существовать весьма сложные системы, которые не обладают большим количеством элементов. И наоборот, существуют системы с очень большим количеством элементов, которые нельзя по характеристикам управления назвать большими системами.

Так, то или иное производственное подразделение, насчитывающее тысячи составных частей, может рассматриваться как малая система, поскольку его оперативное управление не связано с постоянной выработкой новых, не имевшихся ранее регулирующих воздействий. И наоборот, школьный класс, несмотря на небольшое число учеников, может выдвигать перед педагогом весьма серьезные задачи. Следовательно, значение количества элементов является для характеристики большой системы довольно условным.

3. Сложность поведения системы — такие сложные переплетающиеся и перекрывающиеся взаимосвязи между переменными, встречающимися в системе, что изменение одной переменной влечет за собой изменение многих других.

Эта сложность проявляется также и в том, что указанные выше каналы обратной связи в системе образуют переплетающиеся петли. Эта особенность системы действительно является существенной характеристикой ее как большой системы.

4. Нерегулярное, статистически распределенное во времени поступление внешних по отношению к системе возмущений («входов»). Эта нерегулярность возмущений приводит к невозможности точного предсказания нагрузки.

5. Высокая степень автоматизации в системе. В частности, для многих современных систем большого масштаба весьма характерно широкое применение новейших средств электронной вычислительной техники. Это свойство больших систем, хотя и характеризует систему с внешней ее стороны, тем не менее является довольно существенным на современном уровне технического прогресса.

Добавим, что в настоящее время одним из неперенных свойств больших систем является применение интеллектуальных средств поддержки человека при принятии им оперативных решений.

Разберем несколько примеров больших систем.

### *5.2.3. Транспорт и энергетика — как сверхбольшие эргатические системы*

Транспорт уже в его нынешнем состоянии представляет одну из самых сложных систем, которую можно представить как сверхбольшую эргатическую систему (СБЭС). Как эргатическую иерархическую систему ее отличает многоуровневость, централизация, непрерывность участия человека в управлении, причем как в подсистемах прямого действия, когда он находится на самом объекте управления (например, подвижном), так и в подсистемах дистанционного действия. Ей присуща высокая степень организации, которой сопутствует сложная координация деятельности подсистем.

Одна из наиболее важных проблем, стоящих перед железнодорожным транспортом, — совершенствование организации перевозочного процесса и управления им. Дальнейший рост производительности труда решается с применением новейших технических средств автоматизации, прежде всего микропроцессорной техники, и развитого программного обеспечения (АСОУП, ГИД «Урал», ДИСПАРК и др.).

Обработка информации о пассажирах и грузах, как и управление движением, сосредотачивается в единых дорожных центрах, что повышает эффективность перевозок и делает возможным сначала программное управление движением поездов, а затем и автоматизацию их вождения.

Особый интерес вызывают работы по проектированию и внедрению автоматизации диспетчерского управления, что позволяет повысить пропускную способность железных дорог и существенно сократить опоздания поездов по сравнению с ручным диспетчерским управлением, осуществить значительную экономию электроэнергии, а также, что не менее важно, улучшить условия труда диспетчерского аппарата и машинистов. Так, опыт функционирования интеллектуальной интегрированной системы «Автодиспетчер» на Октябрьской железной дороге показывает, что голосовые переговоры между ними сократились в 7–10 раз без снижения уровня безопасности, что резко снизило напряженность их трудовой деятельности.

В связи с развитием в нашей стране, как и в ряде других ведущих железнодорожных мировых держав, скоростного и высокоскоростного движения особое внимание в системе «Автодиспетчер» уделяется выполнению графика движения скоростными поездами, для которых предусматривается автоматизация выработки управляющих решений в случае возникновения конфликтных ситуаций. Создан программно-технологический комплекс для выявления и формирования вариантов разрешения конфликтных ситуаций в режиме «советчика» поезвному диспетчеру для пропуска скоростных поездов точно по графику или с минимальным отклонением от него. В эргономическом плане встают вопросы эффективности заложенных принципов выдачи информации поезвному диспетчеру (ДНЦ) в режиме «активного пользовательского интерфейса». В этой связи на специальном экспериментальном полигоне для разработки и развития системы «Автодиспетчер» должны отрабатываться не только различные технические и технологические решения по развитию системы, но и эргономические решения, включая моделирование поведения операторов при разрешении конфликтных ситуаций.

Автоматизируются отдельные рабочие процессы на нижних уровнях системы (станциях, депо и др.), что позволяет осуществлять их с меньшими затратами

ручного труда. Автоматические подсистемы внедряются на таких работах, как коммерческие операции, маневровые передвижения на станциях, а также текущее содержание постоянных сооружений и подвижного состава.

К ним относятся автоматизированная система централизованной подготовки оформления перевозочных документов (ЭТРАН), единый комплекс интегрированной обработки дорожной ведомости (ЕКИОДВ), автоматизированная информационная система организации перевозки грузов по безбумажной технологии (АИСОДВ) и др.

Существенные изменения происходят и в автоматизации ведения пассажирских и грузовых поездов. Основная особенность системы автоведения пассажирских электропоездов — расчет оптимальной траектории движения, соответствующей заданному машинистом режиму исполнения расписания непосредственно в бортовом компьютере в реальном времени, что позволяет минимизировать потребленную энергию на тягу при исполнении графика движения. Кроме того, программа адаптируется к характеристикам конкретных электропоезда и поезда как по тяге, так и по тормозам, что обеспечивает более высокую точность управления во всех режимах движения поезда. Система позволяет автоматизировать проверки ее и электропоезда перед поездкой, что существенно уменьшает время готовности, и автоматизировать подготовку к поездке, используя возможность предварительной записи на картридж (на АРМе в депо) задания на поездку, включая список предупреждений, и автоматическое его считывание перед отправлением.

Во время движения обеспечивается оперативное тестирование аппаратуры системы автоведения и электропоезда с выдачей речевого сообщения машинисту в случае обнаружения неисправности, что повышает безопасность движения.

Следует отметить, что в отличие от зарубежных систем, которые обеспечивают лишь поддержание заданной машинистом скорости, отечественные системы автоведения в реальном времени сами рассчитывают и реализуют оптимальную скорость движения в зависимости от постоянно меняющейся поездной обстановки на маршруте с учетом многих факторов: постоянных и временных ограничений скорости; сигналов светофоров; тяговых и тормозных характеристик конкретного электропоезда и поезда; условий проезда определенных участков и напольных устройств и др.

В основе энергооптимального вождения поезда лежат алгоритмы быстрой оптимизации движения с учетом вышеперечисленных факторов, разработанные учеными ВНИИЖТа под руководством Л. А. Мугинштейна. Алгоритмы опробованы при разработке режимных карт движения поездов, причем в отличие от статичных режимных карт, которые рассчитываются перед поездкой,

в системах автоведения реализован постоянный пересчет траектории движения при каждом изменении условий.

Разработчики этой системы учитывают, что автоведение пассажирских поездов должно обеспечивать высокую точность исполнения расписания в условиях постоянно меняющейся поездной обстановки на больших расстояниях. При этом необходимо оптимизировать траекторию движения вперед на десятки и сотни километров. При разработке программы автоведения пассажирских поездов они исходили из следующих критериев: соблюдение графика движения с точностью до 1 мин (для скоростного движения — 30 с); минимизация потребленной энергии на тягу и тормозами — в частности, минимизация числа переключений контроллера.

Таким образом, для железнодорожного транспорта, подобно всем другим отраслям промышленности, характерно стремление к полной автоматизации всех рабочих процессов. Однако для осуществления этой цели потребуется колоссальная система — такая, что ее будет трудно осуществить как экономически, так и технически. Одна из причин этого заключается в том, что спрос на пассажирские и грузовые перевозки и связанные с ними размеры движения на дорогах сильно меняются во времени и трудно поддаются моделированию. Это особенно справедливо в условиях начавшейся приватизации РАО «РЖД». Устройства автоматики должны выполнять очень сложные функции, обрабатывать большой объем информации. Другая причина та, что аппаратура для управления движением поездов должна быть абсолютно надежна, поскольку к железнодорожному транспорту предъявляются требования обеспечения особо высокой безопасности движения поездов. Он должен удовлетворять потребности в перевозках, всегда находиться в состоянии готовности осуществить их, свести к минимуму простой или снижение качества обслуживания, даже когда движение задерживается по каким-либо причинам.

Роль человека в транспортных эргатических системах не снизилась после появления на железных дорогах автоматической блокировки, диспетчерской централизации, ЭВМ и других совершенных устройств. Все эти средства повышают информационную насыщенность контура управления, его возможности, но реализация этих возможностей пока остается функцией человека, а технологическая сложность принятия решений при этом растет. И так как все большая часть сообщений теперь формируется и представляется техническими средствами, человек вынужден работать с общей абстрактной моделью объекта управления, учитывающей машинный характер вводимых в нее сообщений. Он должен постоянно дополнять общую модель  $M_{\Sigma}$  частными моделями, достаточно точно описывающими свойства технических средств  $M_i$ . Отсюда



непрерывно увеличивается мощность общего множества состояний системы и число элементов, к которым эти состояния относятся. Переход на скоростное и высокоскоростное движение приводит к росту параметров объектов управления и к общей насыщенности среды этими объектами, т. е. происходит усложнение обстановки, в которой находится объект управления. Все это приводит и к росту требований к человеку из-за существенно уменьшающегося времени для принятия им решений и их реализации.

Требуются новые подходы к разработке таких СБЭС, каковой является современный железнодорожный транспорт, ввиду того что сложность его инфраструктуры и ее объектов принципиально исключает возможность работы в полностью автоматическом режиме.

Именно такое понимание характерно для ведущих разработчиков систем управления железнодорожным транспортом [5], возлагающих большие надежды на интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые наряду с точными математическими моделями используют данные и знания людей, накопленные в процессе их деятельности. В основе работы таких систем может, а зачастую должен лежать формализованный опыт высококвалифицированных специалистов. Исходя из этого ОАО «РЖД» нуждается сейчас в разработке фундаментальных основ создания интеллектуальных железнодорожных систем с использованием комплексных междисциплинарных подходов, которые в короткие сроки могут найти практическое применение. Другим примером большой системы могут служить различные *энергосистемы*. Большие системы энергетики существенно отличаются от других искусственных систем своей универсальностью и особой значимостью продукции для экономического, бесперебойного энерго- и топливоснабжения народного хозяйства, материальностью основных связей (электрических, трубопроводных), непрерывностью процессов производства и потребления, масштабностью и, как следствие, структурной сложностью. Все это привело к появлению в рамках энергетической науки относительно самостоятельной теории и методов оптимизации и управления большими системами энергетики.

Развитие мировой энергетики идет в направлении создания и широкого внедрения SmartGrid, получившей в России название интеллектуальной энергосистемы (ИЭС). Для решения задач оперативно-диспетчерского управления ЕЭС России создана многоуровневая иерархическая система оперативно-диспетчерского управления, включающая:

- Системный оператор — Единая энергетическая система (далее СО ЕЭС);
- семь территориальных объединенных диспетчерских управлений (ОДУ или СО-ОДУ) — в каждой из семи ОЭС;

- региональные диспетчерские управления (РДУ или СО-РДУ);
- пункты управления электростанций и предприятий электрических сетей;
- оперативно-выездные бригады.

Поддержка действий диспетчера осуществляется техническими и программными средствами АСДУ. АСДУ ЕЭС можно разделить на 3 подсистемы:

- подсистема автоматического управления, работающая в реальном времени в автоматическом режиме без участия человека;
- подсистема оперативного управления режимами (ОУР), работающая в реальном времени (on-line) с участием технологического персонала;
- подсистема планирования режимов, работающая вне реального времени с участием технологического персонала.

Основные задачи подсистемы ОУР получили название EMS-приложений. Комплекс программ EMS-приложений обеспечивает функции анализа и планирования режимов на основе текущего расчетного режима ЭЭС, полученного в результате ОС. К ним относятся:

- моделирование и анализ режима, советчик диспетчеру по вводу режима в допустимую область;
- прогноз нагрузки: суточный и внутрисуточный;
- оптимизация режима по активной мощности;
- внутрисуточная коррекция режима по активной мощности и напряжению;
- оперативная оценка надежности режима и др.

Кроме того, в составе АСДУ на всех уровнях ее иерархии созданы и эксплуатируются:

- системы автоматического управления режимами — системы релейной защиты, противоаварийной автоматики и автоматического управления нормальными режимами по частоте и активной мощности (АРЧМ);
- системы краткосрочного (сутки, неделя) и долгосрочного (месяц, квартал, год) планирования энерго- и электрорежимов;
- системы автоматизации коммерческого учета и контроля электроэнергии и мощности (АСКУЭ);
- экспертные системы для информационной помощи оперативному персоналу, а также интеллектуальной поддержки принятия решений;
- диспетчерские тренажеры.

Сегодня оперативное управление сложными технологическими процессами и локальными энергосистемами в трубопроводном транспорте нефти осуществляется в рамках автоматизированных систем диспетчерского контроля и управления (СДКУ). При оценке процессов оперативного управления управ-

ляющая деятельность лиц оперативно-диспетчерского персонала может быть представлена в виде совокупности работ, логически связанных между собой и имеющих определенную целостность. Содержание этой деятельности может быть описано в виде совокупности функций оперативно-диспетчерского управления. Каждая из этих функций обладает в известном смысле самостоятельностью, и всякая предшествующая функция в перечне есть необходимая предпосылка для выполнения последующей.

На этой основе обсуждается целенаправленное поведение лиц оперативно-диспетчерского персонала. Выполнение каждой функции управления рассматривается с точки зрения принятия управляющих решений.

Целенаправленное поведение диспетчера энергосистемы как лица, принимающего решение (ЛПР), представлено в виде множества фаз и этапов управления. При этом достижение общей цели управления энергосистемой обеспечивается достижением частных целей.

Специфика энергосистем как сложных (больших) систем не может не оказывать существенного влияния на деятельность человека, управляющего ими. Для обеспечения оптимального (или приемлемого) функционирования энергосистемы, а также правильного ответа системы на различные возникающие возмущения человеку, выполняющему функции регулятора в этой системе, необходимо решать сложные управленческие задачи.

Эта деятельность проявляется тогда, когда возникает рассогласование между требуемым и реальным режимами работы локальной энергосистемы. При этом у ЛПР может отсутствовать необходимый для устранения рассогласования набор регулирующих воздействий. В результате его деятельности, направленной на устранение такого положения, может возникать и складываться новая, не применявшаяся ранее последовательность управляющих действий. Реализация ее и приводит к устранению возникших рассогласований. Вместе с тем следует отметить, что современный диспетчер, принимая решения при управлении, может учитывать большое количество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых факторов. Он умеет выявлять проблемные ситуации, искать, находить и принимать правильные управляющие решения. Причем все это человек может производить в условиях, когда отсутствует ряд данных о состоянии объекта управления и нет четких критериев выбора альтернатив, т. е. принимать решения в условиях риска и неопределенности.

Рассматриваемый подход к построению человеко-машинных систем интеллектуальной информационной поддержки принятия решений (СИИППР) в рамках средств СДКУ базируется на разработке и применении таких методов, которые позволили бы эволюционно пройти указанные ниже стадии развития.

1. *Информационная стадия.* СИИППР берет на себя в контуре диспетчерского управления только информационные функции. По данным, полученным автоматически и от ЛПР, система выдает информацию в преобразованном виде, удобном для восприятия человеком.

2. *Информационно-советующая стадия.* СИИППР по данным, получаемым, как и на 1-й стадии, выполняет информационно-советующие функции, т. е. умеет оценить состояние объекта управления и найти перечень управляющих рекомендаций. Свои оценки и рекомендации система отображает ЛПР вместе с информацией, полученной на стадии 1 в виде, удобном для восприятия.

3. *Стадия автоматизированного управления.* В этой стадии СИИППР, получая полностью или частично информацию непосредственно от объекта управления, не только выдает рекомендации диспетчерскому персоналу, но частично осуществляет и прямое воздействие в виде выдачи команд на регуляторы и исполнительные механизмы. Человек и машина на этой стадии работают совместно, причем человек, используя свои знания, опыт и интуицию, корректирует управляющие функции машины. При этом возможен и режим самообучения машины.

4. *Стадия полного автоматического управления.* СИИППР работает в условиях автоматического получения всей информации от системы и выдачи всех команд управления. Но и при этом человеку отводится роль не только наблюдателя за ходом управляющего процесса, но и остается возможность вмешательства в процесс с целью проверки правильности его исполнения и внесения корректив. Наш краткий обзор современных больших систем показывает, что их развитие идет по пути дальнейшей интеллектуализации управленческих процессов с обязательным включением обученного человека-оператора. Для разработки ИТС большое значение имеют знания человеческих способностей в процессе его взаимодействия с внешним миром, решения разнообразных задач, возникающих в процессе такого взаимодействия.

Человек в отличие от компьютера обладает нечетким мышлением, эффективно оперирует переменными не только количественного, но и качественного характера.

Приведем характеристику человеческих способностей, полученную на основе достижений экспериментальной и когнитивной психологии. Для человека можно выделить следующие функциональные характеристики:

- способность интегрировать разнородные элементы в единую систему;
- способность построить «модель внешнего мира»;
- предвидение событий внешнего мира;
- способность к выводам;

- решение нечетко сформулированных задач;
- распознавание ситуаций внешнего мира;
- ориентироваться во времени и пространстве;
- самонаблюдение;
- способность построить «модель внутреннего мира»;
- неограниченный диапазон гибкости способов переработки информации;
- общий тип решаемых проблем;
- создание «абстрактных образов внешнего мира»;
- способность выделения «постоянных элементов внешнего мира».

Эти характеристики необходимо учитывать при создании экспертных систем, т. е. компьютерных программ, способных полностью или частично заменить специалиста-эксперта и некоторой, как правило, достаточно узкой проблемной области. Экспертные системы начали разрабатываться исследователями искусственного интеллекта в 1970-х гг., а уже в 1990-х нашли свои коммерческие приложения. Это направление может иметь реальное практическое применение в железнодорожной отрасли при создании ИТС.

Экспертные системы функционируют в основном вместе с базами знаний, представляющими собой совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности. Это и позволяет в целом моделировать поведение опытных специалистов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений.

Разработка экспертных систем предусматривает процесс формирования знаний, который невозможен без участия специалистов по когнитивной инженерии — инженера по знаниям. Эти специалисты должны обладать знаниями в области когнитивной психологии, искусственного интеллекта, программирования. Этап приобретения знаний является одним из главных узких мест в рамках технологии создания экспертных систем из-за низкой скорости наполнения базы знаний системы. К этому следует добавить, что есть предметные области, для которых зачастую трудно найти опытного человека-эксперта, а иногда такового просто не существует. Кроме того, давно замечено, что не все эксперты готовы и умеют делиться своими знаниями. О психологических причинах этого будет сказано в тринадцатой главе.

### 5.3. Этапы и процедуры эргономического проектирования систем «человек-машина»

В настоящем параграфе будет показано, как практически последовательно, по процедурам осуществляется проектирование системы «человек-машина». Наличие в рассматриваемой системе человека и отсутствие строгих априорных описаний его действий уже само по себе предопределяет своеобразие процесса проектирования подобных систем. В настоящее время они проектируются, как отмечалось, методами последовательных приближений, когда на каждом последующем шаге проектирования проверяется соответствие полученных результатов заданным требованиям и на основе подобных проверок вносятся коррективы в предшествующие шаги. Поэтому такой процесс проектирования определяют, как *многопетлевую структуру с обратными связями*, гибко приспособленную к решаемым задачам на различных стадиях проектирования.

Согласно общепринятым стандартам, проектирование систем «человек-машина» в наше время осуществляется посредством следующих обязательных этапов, отражающих циклический характер этого процесса:

- этап разработки технического задания;
- этап разработки технического предложения;
- этап разработки эскизного проекта;
- этап разработки технического проекта;
- этап разработки рабочей документации, включающий изготовление опытных образцов и их испытание.

Для рассмотрения указанных стадий проектирования и более стройного изложения последовательности его процедур с точки зрения участия в них инженерного психолога воспользуемся специально составленной с этих позиций структурной схемой [14] (рис. 5.3). На этой схеме процедуры, выполняемые на каждой стадии проектирования, ограничены пунктирными прямоугольниками. Заметим также, что все процедуры, связанные с действиями, решениями и оценками, представлены на схеме в виде прямоугольников, процедуры же составления описаний, спецификаций и перечней — в виде треугольников.

При изложении процесса проектирования систем «человек-машина» будем опираться на отечественные и зарубежные материалы, отражающие практический опыт такого проектирования. При описании этого процесса названия отдельных блоков, отмеченных на схеме, будут выделяться в тексте курсивом.

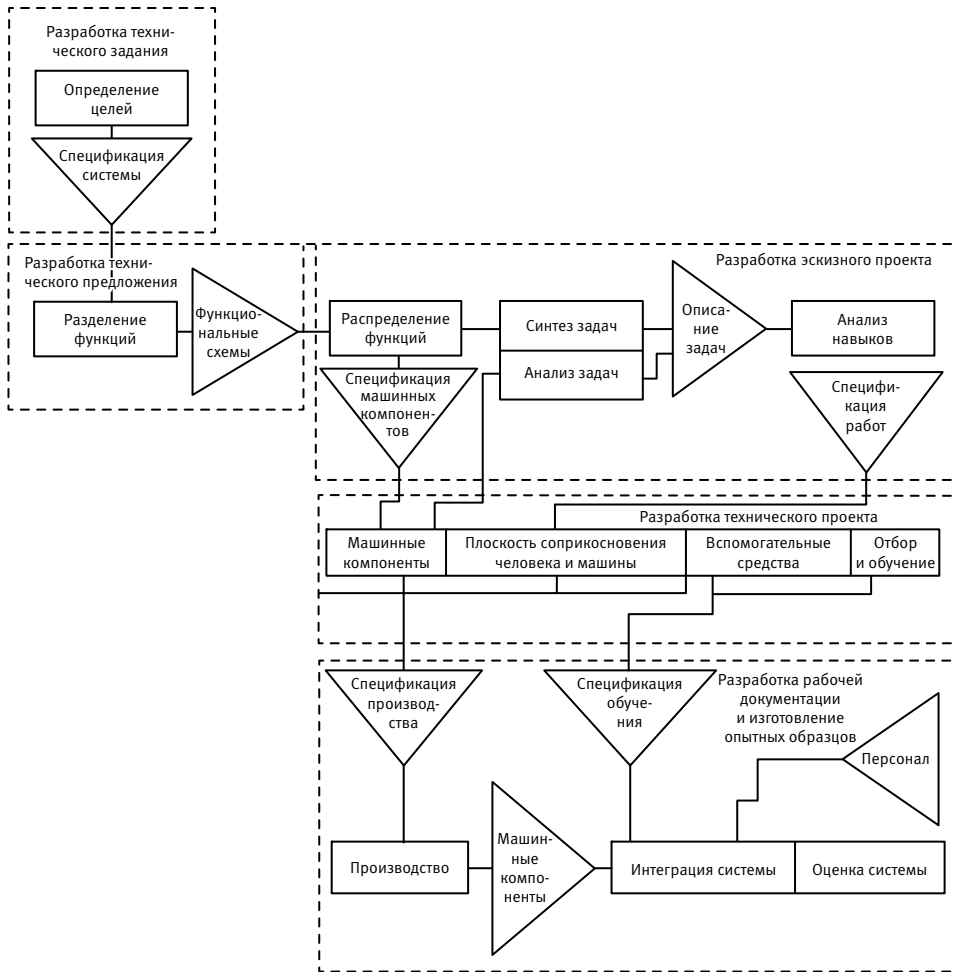


Рис. 5.3. Структурная схема процедур системотехнического проектирования систем «человек-машина» (по У. Синглтону с дополнениями М. А. Котика)

**Этап разработки технического задания**, заключающийся в определении целей создаваемой системы и обосновании ее необходимости, является исходным этапом любого процесса системотехнического проектирования. Техническое задание для системы составляется на основании анализа данных, свидетельствующих о потребности в ней, а также сведений, полученных при эксплуатации аналогичных систем и в результате научно-исследовательских работ, показывающих тенденцию развития подобных систем и управляемых ими объектов. Для составления такого задания организуется сбор подробных данных об особенностях будущей системы, условиях ее работы и окружающей среде.

На этой стадии четко формулируется назначение системы (*цели*, которых она должна достигать) и предъявляемые к ней требования.

Определяя техническое задание, проектировщики уже примерно ориентируются на определенное оборудование, при посредстве которого возможно достижение заданных целей. Здесь инженерный психолог оценивает необходимость и степень участия человека в работе системы, примерный круг выполняемых им работ, условия предстоящей деятельности, примерное число операторов будущей системы. На основе всех этих данных разрабатывается соответствующая *спецификация* подробных требований, предъявляемых к системе, в которой указываются также количественные значения налагаемых на нее ограничений и условия, определяющие их выполнение. По каждому требованию проектировщик отмечает возможные пути его осуществления, а также преимущества и недостатки отдельных путей, исходя из эффективности системы, ее стоимости, временных затрат и т. п. В результате обсуждения такой спецификации в техническом задании выделяются наиболее приемлемые пути построения системы. При этом для учета и объединения большого числа факторов могут использоваться математические методы анализа операций.

На данном этапе определяется также профиль назначения системы — временная последовательность действий, реализующая генеральную целевую функцию системы. В этом профиле выделяются наиболее сложные и ответственные элементы, от выполнения которых особенно зависит реализация назначения системы.

**Этап разработки технического предложения.** Исходными данными рассматриваемого этапа являются материалы технического задания. На основе этого документа, а также материалов об эксплуатации подобных систем, данных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выделяются конкретные функции, которые надлежит выполнять будущей системе (*разделение функций*). По каждой функции приводятся анализ, оценка степени ее сложности и требуемые показатели ее выполнения. При этом важно установить критерии, по которым можно судить о выполнении функции и его качестве. Подобные критерии задаются обычно в виде количественных оценок, с указанием допустимых отклонений.

Для анализа отдельных задач системы строятся специальные *функциональные схемы* с указанием временной последовательности возникновения отдельных задач и времени, за которое они должны быть выполнены. На них отображается также характер поступающей информации, ее частота. По этим схемам представляется возможным предварительно судить о принципиальной целесообразности использования для выполнения отдельных задач человека или



машины; по ним уточняется число операторов, общие данные о возможных рабочих местах, требования к оборудованию.

На этом этапе заказчик осуществляет консультации разработчику и участвует в подготовке плана совместных работ по инженерно-психологическому проектированию. Соответственно конструкторские организации разработчика проводят анализ путей реализации инженерно-психологических требований, формулируют решения человеко-машинной системы с точки зрения задач, поручаемых человеку в условиях его деятельности.

В плане проведения научно-исследовательских работ разработчик проводит изучение инженерно-психологических характеристик аналогов разрабатываемой системы, а также инженерно-психологическое изучение деятельности оператора в предшествующих системах.

**Этап разработки эскизного проекта.** Все рассмотренные выше процедуры можно расценивать как этап подготовки к разработке эскизного проекта системы «человек-машина», центральным вопросом которого является *распределение функций* между человеком и машиной. О процедурах, выполняемых для распределения функций, подробно говорилось в предыдущем разделе. К этому можно добавить, что при обнаружении неучтенных ранее, однако существенных факторов используются специальные лабораторные инженерно-психологические исследования, а также эксперименты на макетах или действующих системах, подобных проектируемой.

Особую роль в настоящее время и в будущем при эргономическом проектировании на стадии эскизного проектирования играет имитационное моделирование с применением электронно-вычислительной техники.

Общепризнано, что непосредственное экспериментирование на реальной системе устраняет много затруднений, если необходимо обеспечить соответствие между моделью и реальными условиями; однако недостатки такого экспериментирования иногда весьма значительны, поскольку:

1. Оно может нарушить установленный порядок работы системы.
2. Если составной частью системы являются люди, то на результаты экспериментов может повлиять так называемый хауторнский эффект, проявляющийся в том, что люди, чувствуя, что за ними наблюдают, могут изменить свое поведение.
3. Может оказаться сложным поддержание одних и тех же рабочих условий при каждом повторении эксперимента или в течение всего времени проведения серии экспериментов.
4. Для получения одной и той же величины выборки (и, следовательно, статистической значимости результатов экспериментирования) могут потребоваться чрезмерные затраты времени и средств.

5. При экспериментировании с реальными системами может оказаться невозможным исследование множества альтернативных вариантов.

По этим причинам исследователь должен рассмотреть целесообразность применения имитационного моделирования при наличии любого из следующих условий:

1. Не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной математической модели. К этой категории относятся многие модели массового обслуживания, связанные с рассмотрением очередей.

2. Аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи.

3. Аналитические решения существуют, но их реализация невозможна вследствие недостаточной математической подготовки имеющегося персонала. В этом случае следует сопоставить затраты на проектирование, испытания и работу на имитационной модели с затратами, связанными с приглашением специалистов со стороны.

4. Кроме оценки определенных параметров, желательно осуществить на имитационной модели наблюдение за ходом процесса в течение определенного периода.

5. Имитационное моделирование может оказаться единственной возможностью вследствие трудностей постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях.

6. Для длительного действия систем или процессов может понадобиться сжатие временной шкалы. Имитационное моделирование дает возможность полностью контролировать время изучаемого процесса, поскольку явление может быть замедлено или ускорено по желанию.

После осуществления распределения функций возникает как бы два направления эскизного проектирования: подготовка данных для проектирования машинных компонентов и систематизация данных о «человеческом факторе». По первому направлению ведется *анализ* всего комплекса задач, возлагаемых на машину, и их взаимосвязи с точки зрения возможностей их совместного выполнения. В результате такого анализа приходится иногда пересматривать состав оборудования и осуществлять его выбор также с учетом всего комплекса машинных задач. Исходя из этих данных составляется *спецификация машинных компонентов*.

Для эргономиста наибольший интерес представляет второе направление, где изучаются задачи, поручаемые человеку. На основе объединения — *синте-*

за — этих задач здесь требуется воссоздать примерную структуру деятельности оператора, установить возможные перекрытия отдельных задач и ожидаемые при этом перегрузки. Деятельность человека здесь организуется таким образом, что ее основные характеристики соответствуют характеристикам деятельности в реальной системе. Попутно приходится осуществлять и анализ некоторых задач с учетом ожидаемых условий их выполнения, связывая эти задачи с характеристиками машинных компонентов (программным обеспечением, средствами индикации, органами управления и вариантами их использования и т. п.). В результате такого анализа может потребоваться некоторая корректировка предварительного варианта распределения функций. После всех процедур анализа и синтеза задач человека осуществляется *описание* этих задач.

Порученные человеку функции соотносятся с его предполагаемыми возможностями путем *анализа навыков* оператора. При этом приходится принимать во внимание не только наличные навыки, но и возможности их развития в процессе практической деятельности. Хотя проектирование осуществляется в расчете на подготовленного оператора, при этом обычно стремятся также к созданию в системе таких технических условий, которые способствовали бы более быстрому вводу в строй начинающих операторов. На основе описаний задач оператора и анализа навыков составляется предварительная *спецификация работ*, которые ему надлежит выполнять в будущей системе.

На стадии эскизного проекта заказчик утверждает перечень задач, способов их решения и критериев эффективности. Его специалисты участвуют в распределении функций и выдаче исходных данных для составления рабочего проекта и расчета загрузки. Конструкторские и научно-исследовательские организации разработчика осуществляют разработку и изготовление экспериментальных образцов рабочего места оператора (РМО), разрабатывают имитационные модели, осуществляют распределение функций, составляют программы и методики испытаний на модели. В задачу разработчика на этой стадии входят также выдача технического задания (ТЗ) на оснащение опытного образца разрабатываемой системы контрольно-записывающей аппаратурой.

Таким образом, на стадии эскизного проектирования дается обоснование принципиальных решений по распределению функций, по составу и конструкции машинных компонентов, а также по деятельности операторов.

**Этап разработки технического проекта** является периодом отработки и принятия окончательных технических решений на проектирование. На этой стадии осуществляется уже проектирование конкретных *машинных компонентов* системы. Инженерного психолога в этом периоде будет интересовать три главных вопроса проектирования:

- разработка элементов машины, с которыми непосредственно будет действовать человек, т. е. плоскости соприкосновения человека с машиной;
- отбор и обучение операторов;
- разработка вспомогательных средств, обеспечивающих лучшее взаимодействие оператора с оборудованием.

Кратко остановимся на каждом из этих вопросов и связанных с ними процедурами. К разработке *плоскости соприкосновения человека с машиной* проектировщики подходят, располагая предварительными спецификациями машинных компонентов и описаниями работ оператора, некоторыми алгоритмами его управляющих действий, данными о временной загрузке человека, об уровне сложности отдельных задач. На этом этапе инженерный психолог должен оценить, в какой мере оператор способен с помощью избранной аппаратуры выполнить все возложенные на него функции. Также оценки даются как исходя из интуитивно-логических соображений, так и на основе специально проводимых экспериментов и испытаний. Рассматриваемая стадия является последней, где еще возможно свободно варьировать решениями и где их корректировки не связаны с существенными затратами. Поэтому подобным оценкам и проверкам на этой стадии проектирования придается большое значение.

Для проведения испытаний создаются специальные макеты, моделирующие отдельные задачи и условия деятельности оператора. Здесь используются статические макеты — объемные модели оборудования РМО, выполненные в натуральную величину, на которых проверяется размещение и компоновка оборудования, его соответствие антропометрическим требованиям и задачам, решаемым оператором.

На РМО устанавливаются все необходимые органы управления, связи и средства отображения информации. На РМО, предназначенных для операторов, непосредственно управляющих транспортными средствами, например машинистов электровозов, могут устанавливаться имитаторы внешних воздействий (шумовых эффектов, перегрузок и т. д.). Подобным образом удастся не только обнаруживать ошибки и просчеты, допущенные на предшествующих стадиях проектирования, но и находить лучшие варианты решений.

Более полные оценки проектных решений даются при использовании функциональных макетов, изготовленных объемно и также в натуральную величину, но уже с действующим оборудованием.

В настоящее время действующее оборудование для целей инженерно-психологического проектирования может заменяться моделирующей подсистемой, представляющей собой вычислительный комплекс, с помощью которого моделируют динамику поведения объекта, логику функционирования его систем

и реакцию окружающей среды. Результаты моделирования выводят на средства отображения информации и имитаторы внешних воздействий РМО.

На таких макетах возможно проверить не только нормальные режимы работы оборудования и оператора, но и особые аварийные случаи. Кроме макетных испытаний, инженерный психолог проводит также лабораторные эксперименты, направленные на проверку отдельных технических решений и уточнение частных вопросов деятельности оператора в создаваемой системе.

Под проектированием *вспомогательных средств* понимается разработка специальных средств и методов, которые повышают эффективность взаимодействия человека с машиной в плоскости их соприкосновения. Такие средства могут быть непосредственно связаны с оборудованием и выступать в виде нанесенных на нем условных знаков или специальных описаний оборудования. Вспомогательные средства могут предназначаться и для сферы обучения, в том числе инструкции по управлению системой, учебные фильмы и другие пособия, способствующие лучшему приспособлению человека к данному оборудованию системы.

*Отбор и обучение* операторов рассматривается как составная часть проектирования системы. На основе сделанной ранее специфики работ, возлагаемых на оператора, а также данных, полученных уже в стадии разработки технического проекта, составляются профессиограммы и психограммы операторской деятельности, по которым определяются критерии профессионального отбора, а также требования к обучению операторов.

На этой стадии взаимодействие организаций заказчика и разработчика осуществляется по следующей схеме. Заказчик, во-первых, утверждает режимы и способы работы оператора и требования к их отбору и обучению, программы и методики инженерно-психологических оценок на этапах испытаний, ТЗ на технические средства подготовки операторов, во-вторых, производит оценку компоновки РМО и загрузки операторов и составляет программы и методики оценок в процессе испытаний на модели (макете).

В функции организаций разработчика входит: разработка организационно-психологической структуры деятельности для предусмотренных режимов работы и вариантов задач, разработка и изготовление модели (макета) создаваемой человеко-машинной системы, определение загрузки специалистов по результатам исследования.

**Этап создания рабочей документации и опытных образцов** заключается в реализации проектных решений, принятых на предшествующей стадии. На основе технического проекта машинных компонентов системы, проекта плоскости соприкосновения человека и машины, а также вспомогательных

средств разрабатывается *спецификация производства*, по которой уже создается рабочая документация для изготовления технического оборудования системы. На базе этой документации организуется *производство* первых опытных образцов машины и выпуск к ним соответствующих *технических описаний машинных компонентов*. На основе решений по профессиональному отбору и обучению, а также выбранных вспомогательных средств составляется *спецификация обучения* и организуется *отбор персонала*.

На данном этапе уже осуществляется *интеграция системы*, т. е. объединение в единое целое изготовленной и действующей машины со специально отобранным и обученным для ее управления персоналом операторов. Заключительным этапом этой стадии является *оценка системы* посредством специальных испытаний. Такие испытания проводятся в условиях, максимально приближенных к тем, в которых будет функционировать система. Если возможно, то опытные образцы проверяются непосредственно в реальных условиях применения системы при эксплуатационных, или «полевых», испытаниях. Однако часто такие условия вначале приходится создавать искусственно, посредством изготовления специальных систем, имитирующих оперативную обстановку работы системы. В выборе средств имитации большую роль играет эргономист.

Эксплуатационные испытания, проводимые в реальных условиях применения системы, обычно охватывают все аспекты ее функционирования: проверку работы техники и оценку деятельности операторов в различных задачах и режимах, при различных условиях работы, с попутной проверкой системы связи, обеспечения, ремонта и т. д. При таких испытаниях оценивается соответствие системы как ее основному назначению, так и выполнению частных задач. Специально оцениваются действия оператора и показатели системы в аварийных ситуациях, вызванных отказами техники и оператора. В процессе эксплуатационных испытаний часто осуществляется также инструментальный контроль за показателями деятельности оператора и его состояниями.

Критериями оценок степени соответствия системы предъявляемым к ней требованиям, а также деятельности в ней оператора служат, главным образом, объективные показатели их функционирования. В тех случаях, когда подобные данные отсутствуют или нет количественных критериев их оценки, используются мнения специальных экспертов. Большое значение здесь придается экспертным оценкам операторов, непосредственно осуществляющих эксплуатационные испытания. Все недостатки в работе оборудования и операторов, выявленные при испытаниях первых образцов системы, подвергаются здесь, в условиях испытаний, детальному анализу, активное участие в котором при-

нимает инженерный психолог. По каждому отмеченному недостатку вырабатываются специальные рекомендации, которые могут касаться и коррекции конструкции системы, и изменения методов обучения операторов, и уточнения инструкций, определяющих правила их работы.

После завершения эксплуатационных испытаний первых образцов проводятся специальные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по усовершенствованию системы с точки зрения устранения недостатков, выявленных при испытаниях. Попутно разрабатываются пути устранения обнаруженных недочетов по отбору и подготовке персонала операторов.

Последующие, уже усовершенствованные образцы системы подвергаются повторным эксплуатационным испытаниям, в которых принимают участие операторы, подготовленные с учетом ранее отмеченных недостатков в обучении и отборе. И так процесс корректировки проектных решений продолжается до тех пор, пока система не будет отвечать ее назначению и удовлетворять предъявляемым к ней требованиям.

Взаимодействие организаций заказчика и разработчика на этой стадии происходит по следующей схеме. Заказчик осуществляет:

- проведение инженерно-психологических оценок в процессе испытаний;
- оценку соответствия человеко-машинной системы пунктам ТЗ;
- составление перечня замечаний и предложений по доработке системы «человек-машина»;
- утверждение методов отбора и подготовки операторов.

Разработчик на этой стадии осуществляет:

- доработку системы в части инженерно-психологических свойств;
- испытания в реальных условиях;
- определение возможных путей оптимизации инженерно-психологических свойств;
- разработку методов отбора, обучения операторов;
- составление инструкций по обучению и функционированию.

После разрешения всех этих задач начинается серийный выпуск систем, которые затем поступают к заказчику для их практического применения.

Характерной особенностью создания системы «человек-машина» является тот факт, что после формального завершения процесса ее проектирования, в условиях практического применения — эксплуатации — продолжается «доводка» такой системы. Это обусловлено целым рядом причин.

Во-первых, при ее проектировании отсутствовали строгие алгоритмические описания «человеческого фактора», а в процессе сравнительно кратковременных эксплуатационных испытаний системы уточнить все эти характеристики,

как правило, полностью не удается. Во-вторых, в процессе эксплуатации происходит развитие системы: изменяются отдельные ее характеристики и связи в машинных компонентах (в результате приработки, износа и пр.), с приобретением новых навыков, накоплением опыта изменяются и операторы. И хотя эти обстоятельства пытаются прогнозировать и учитывать в проекте, однако из-за отсутствия точных методов создания подобных прогнозов эти расчеты приходится корректировать. В-третьих, уже в самом процессе эксплуатации системы иногда выявляются такие сведения, которые нельзя практически получить в процессе проектирования. В частности, нельзя предвидеть все варианты возможных нарушений в работе техники, варианты ошибок операторов. А в отдельных системах, специально предназначенных для добывания новой информации, такие данные в принципе не могут быть учтены в процессе проектирования. В-четвертых, методы отбора и обучения операторов, принятые в расчет при проектировании, на основе опыта практического применения системы также обычно приходится уточнять и корректировать. Все эти причины и создают необходимость *корректировки уже в серийных системах ранее принятых решений*.

Следует подчеркнуть, что в процессе такой «доводки» особенно велика роль эргономиста. Все несоответствия и недостатки в работе системы, обнаруженные в процессе ее эксплуатации, в каждом случае приходится анализировать с позиций: являются ли их первопричиной машинные компоненты или человек. Здесь надо особо подчеркнуть, что в настоящее время под понятием «машинные компоненты» следует понимать не только и даже не столько аппаратуру, но и программное обеспечение. И те случаи, когда нарушения в работе системы возникают по вине оператора, специально изучаются эргономистом. Важным направлением в его работе является и анализ деятельности оператора в условиях отказов техники. Поэтому эргономисту приходится, с одной стороны, анализировать причины ошибок операторов и пути их предупреждения, обнаружения, с другой — исследовать возможности операторов прогнозировать в процессе управления отказы техники, предупреждать их, парировать и избегать при этом опасных последствий. Ему приходится также изучать влияние эксплуатационных факторов на функциональное состояние операторов и их деятельность. Большинство недостатков оборудования системы и обучения операторов, выявленных в процессе практического применения системы, обычно устраняется непосредственно в условиях эксплуатации. Однако отдельные недостатки могут требовать корректировки проектных решений, вплоть до перераспределения функций между человеком и машиной, со всеми вытекающими отсюда процедурами.



В ходе практического применения человеко-машинной системы выявляются и новые, более целесообразные алгоритмы управляющих действий оператора. В авиационной инженерной психологии показано на практических примерах, что за счет выявления таких алгоритмов и их использования возможно упростить подготовку операторов: при новом способе действий и операторы с меньшей квалификацией, с меньшим опытом работы могут достигать требуемого уровня эффективности применения системы. Нам представляется, что и для железнодорожной инженерной психологии выявление новых связей и закономерностей в работе системы выступает как средство, позволяющее снизить уровень требований к качествам оператора, — упростить их отбор, ускорить подготовку. Подобные новые алгоритмы управления удастся выявлять обычно в процессе технической эксплуатации систем с накоплением опыта их применения. Следовательно, *в нахождении новых, более целесообразных алгоритмов действия* оператора заключается также *процесс усовершенствования и «доводки» системы* в ходе ее практического применения.

В связи с высказанной мыслью о выявлении в сфере обучения путей, облегчающих подготовку операторов, следует отметить, что и нахождение обособованных с позиций инженерной психологии технических решений, кроме всего прочего, также способствует снижению требований к качествам кандидатов на операторские должности.

Итак, как видно из сказанного, процесс проектирования систем «человек-машина» фактически распространяется и на стадию их эксплуатации, охватывая большой период от зарождения планов создания такой системы и их оформления в виде технического задания и вплоть до доводки серийной системы в ходе ее практического применения. На всех стадиях в проектировании таких систем принимает участие эргономист. Его деятельность, как показывают Д. Мейстер и Дж. Рабидо [9], простирается от логического анализа чертежей и лабораторных экспериментов до участия в эксплуатации серийных систем; от использования интуитивных соображений и субъективных суждений до применения сложных математических моделей и строгих экспериментальных методик.

Подводя итог вышесказанному, отметим что деятельность человека-оператора в современных СБЭС протекает в условиях взаимодействия с ЭВМ.

Такое взаимодействие с неизбежностью ставит перед психологической наукой комплекс весьма сложных задач. Причем эти задачи не ограничиваются инженерно-психологическим проектированием и оценкой только согласующих средств, таких как индикаторные устройства и пульта ввода информации, хотя они, без сомнения, делают возможным, ускоряют, расширяют или усиливают взаимодействие человека с ЭВМ.

Психологический анализ включает также распределение функций между человеком и ЭВМ, оптимизацию взаимодействия в системе в целом, поиск принципиально новых способов организации процессов решения интеллектуальных задач на базе перспективной информационно-вычислительной техники.

Одним из наиболее острых является вопрос о распределении функций, о рациональном сопряжении ЭВМ и творческой деятельности человека.

В работах В. Ф. Венда [1,2] было показано, что человек при его взаимодействии с ЭВМ, особенно в условиях информационной неопределенности, ведет себя не так, как считалось, что он либо полностью и безоговорочно принимает, либо категорически отвергает совет, вырабатываемый ЭВМ. Иначе говоря, коэффициент корреляции между априорными, запрограммированными стратегиями решения задач  $S_a$  и стратегиями, реализуемыми человеком в своей работе и являющимися его реакциями  $S_p$ , должен быть равен либо  $r_{SpSa} = 1$ , либо  $r_{SpSa} = 0$ . Исследования показали, что в зависимости от категоричности формы представления совета и индивидуальных особенностей человека, воспринимающего совет ЭВМ, может быть получено любое значение коэффициента корреляции в диапазоне  $-1 < r_{SpSa} < 1$ . Особый интерес представляет диапазон отрицательной корреляции советов и решений, соответствующий волевым решениям, принимаемым вопреки опыту предшественников.

Однако нам представляется данное положение далеко не бесспорным и требует своего уточнения в зависимости от конкретных сфер взаимодействия человека с автоматическими средствами, в том числе ЭВМ, а также совершенно неисследованной областью, связанной с напряженностью его деятельности.

Развитие представлений о взаимодействии человека-оператора с машиной как о скрытом диалоге его с предшественниками — разработчиками этой машины и программ ее работы — преодолевает узость методологического горизонта эргономики.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключаются современные инженерно-психологические подходы к проектированию системы «человек-машина»?
2. Почему транспорт и энергетика рассматриваются как сверхбольшие эргатические системы?
3. Как осуществляется распределение функций в системе «человек-машина»?
4. Охарактеризуйте этапы и процедуры эргономического проектирования?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Венда В. Ф. Видеотерминалы в информационном взаимодействии (инженерно-психологические аспекты) / В. Ф. Венда. — М., 1980. — С. 198.
2. Венда В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В. Ф. Венда — М., 1982. — С. 344.
3. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
4. Воронин В. М. Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика ФС и обучение операторов / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2016. — 249 с.
5. Гапанович В. А. Новые направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта / В. А. Гапанович, И. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. — 2011. — № 4. — С. 5–11.
6. Голиков Ю. А. Психология автоматизации управления техникой / Ю. А. Голиков, А. Н. Костин. — М. : Институт психологии РАН, 1996.
7. Дубровский В. Я. Проблемы системного инженерно-психологического проектирования / В. Я. Дубровский, Л. П. Щедровицкий. — М., 1971. — С. 92.
8. Котик М. А. Краткий курс инженерной психологии / М. А. Котик. — Тарту, 1978.
9. Мейстер Д. Инженерно-психологические оценки при разработке систем управления / Д. Мейстер, Дж. Рабидо. — М., 1970. — С. 343.
10. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
11. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : «Высш. шк.», 1986.
12. Пископель А. А. Инженерная психология: дисциплинарная организация и концептуальный строй / А. А. Пископель. — М. : ИД «Касталь», 1994.
13. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники / А. Д. Холл. — М., 1975. — С. 21.
14. Синглтон У. Прототип системы и проблема проектирования / У. Синглтон // В кн. : Инженерно-психологическое проектирование. — М., 1970. — С. 206–216.

# Математическое и имитационное моделирование человеко-машинных систем на транспорте

### 6.1. Проблема моделирования деятельности по решению оперативных задач на транспорте

В современной эргономике деятельность оператора по управлению объектами рассматривается через призму решения оперативных задач. Абстрагируясь от конкретных ситуаций, оперативную задачу можно определить как часть деятельности, направленную на поиск отклонений от «нормальной схемы» и их ликвидацию. При этом следует иметь в виду, что ликвидация отклонений от «нормальной схемы» очень часто происходит не путем приведения изменившегося состояния элемента системы к первоначальному, а путем изменения других элементов. Иными словами, у оператора есть различные резервные возможности для приведения системы к «нормальной схеме». Если обратиться к профессиональной деятельности работников железнодорожного транспорта: машинистам, диспетчерам (ДСП ДНЦ), то оперативную задачу, решаемую машинистом, можно определить как определенный этап деятельности, направленный на осуществление управляющих воздействий, обусловленных движением поезда. Оперативная задача, решаемая ДНЦ, — это принятие и реализация управленческих решений в сложной динамической ситуации, направленных на реализацию безопасного продвижения поездов с наименьшей затратой времени.

Как справедливо отмечал В. А. Вавилов [1], актуальность исследования методологических подходов к решению проблемы моделирования деятельности по решению оперативных задач определяется двумя рядами причин, находящихся в определенном соответствии друг с другом. Первый, имеющий позитивную направленность, обусловлен важностью для прикладной психологии изучения процессов решения прикладных задач. Второй, имеющий негатив-

ную направленность, обусловлен низкой эффективностью экспериментального решения конкретных практических вопросов на основе моделирования деятельности по решению оперативных задач.

В современной когнитивной эргономике акцентированное внимание к решению практических задач определяется тем значительным местом, которое оно занимает в труде вообще и в мыслительной деятельности в частности. При этом содержание и структура мыслительной деятельности человека раскрываются как процесс решения задач, а сам труд определяется как адаптация к требованиям задачи.

Далее, с одной стороны, важность экспериментального анализа и моделирования оперативных задач объясняется тем, что данное направление исследований выделяется в самостоятельную научную дисциплину. Так, Ж. Фаверж [цит. по 1] предлагает различать эргономику информативных процессов, которая исследует способы представления информации, и эргономику умственных процессов, в поле зрения которой входят особенности решения практических задач человеком. В. Н. Пушкин [7] разделяет эргономику, занимающуюся проектированием выходов СЧМ, оптимальных с точки зрения человека, и эргономику оперативного мышления, предметом которого являются человеческие способы решения задач.

С другой стороны, нужно подчеркнуть важность методологической проработки данного направления, поскольку эргономисты, не имея твердой опоры в методологических принципах организации экспериментального моделирования деятельности по решению оперативных задач, стремятся перейти от лабораторных исследований процессов решения оперативных задач к исследованию либо деятельности в реальных условиях, либо психических процессов, не связанных ни с какой деятельностью, либо математических моделей деятельности.

И наконец, сосредоточение усилий на вопросах анализа и моделирования процесса решения оперативных задач объясняется значимостью этого направления для создания действенной психологической теории. Лауреат Нобелевской премии Г. Саймон в свое время утверждал, опережая время, что моделирование процесса решения задач вносит существенный вклад в понимание когнитивных процессов и что психологические теории будут такими же плодотворными и содержательными, как современные теоретические представления в биологии, химии, физике. Вместе с тем выдвижение на передний план теоретико-методологических вопросов мотивируется неприспособленностью моделей оперативных задач к оценке и проверке конкретных положений психологической теории. В этой связи В. А. Вавилов ссылается на Д. Бродбента, который

пишет, что психологию затопил поток гипотетических теорий, поскольку задачи, используемые в эксперименте таковы, что результаты их решения могут подтвердить любую теорию. В своих работах В. А. Вавилов критикует методологические позиции Х. Лукзака и В. Н. Пушкина по вопросам критериев определения оперативных задач, а в более широком контексте — и определения заданий для профессионального отбора. Так как позиция В. А. Вавилова имеет для наших целей большое значение, приведем основные аспекты критики им работ Х. Лукзака, В. Н. Пушкина, М. Хаммертона и его подход к системным основаниям оценки сложных оперативных задач.

Цель экспериментальных исследований Х. Лукзака состояла в изучении и оценке психологической нагрузки авиадиспетчера, решающего оперативные задачи управления воздушным движением. Для достижения данной цели автор считает необходимым применить экспериментальное исследование лабораторной модели деятельности авиадиспетчера. При этом он формулирует свою исходную позицию в отношении моделирования следующим образом. «Моделирование, — пишет Х. Лукзак, — может быть определено как целенаправленное экспериментирование на моделях рабочих ситуаций. Эти модели не обязательно должны точно воспроизводить производственную реальность, а лишь тождественно имитировать производственные условия, обуславливающие психическую нагрузку оператора» [11, с. 651]. Далее рассуждения исследователя, как считает В. А. Вавилов, можно представить в виде определенной последовательности умозаключений. Беря за основу трехчленную функциональную модель структуры деятельности оператора при решении оперативных задач (восприятие информации — принятие решения — реализация решения), предложенную Уэлфордом, Х. Лукзак утверждает:

- а) оперативные задачи делятся на три класса: сенсорные, мыслительные, сенсомоторные [11, с. 653];
- б) оперативные задачи по регулированию воздушным движением относятся ко второму классу (мыслительные задачи) [11, с. 653];
- в) моделирование данных задач должно состоять в нагружении центрального механизма принятия решений [240, с. 653];
- г) каждое принимаемое решение (в том числе и самое сложное) может быть рассмотрено как состоящее из ряда элементарных умозаключений: конъюнкций и дизъюнкций [11, с. 654];
- д) представление оперативной задачи в виде дерева элементарных умозаключений, ветвям которого приписаны соответствующие вероятности, представляет собой изоморфную модель процесса решения этой задачи [11, с. 655];

- е) технические устройства, отображающие ситуации множественного (или бинарного) выбора, могут использоваться в эксперименте по изучению психической нагрузки авиадиспетчера в качестве моделирующих реальные средства отображения информации [11, с. 656–657].

Таким образом, Х. Лукзак, по мнению В. А. Вавилова, приходит к выводу, что испытуемый, реагирующий нажатием определенных клавиш в соответствии с инструкцией в ответ на появление определенных визуальных стимулов, испытывает ту же самую психическую нагрузку, что и авиадиспетчер. А это значит, что трудная и сложная деятельность авиадиспетчера, решающего оперативные задачи управления воздушным движением, отождествляется с действиями испытуемого, участвующего в элементарном психологическом эксперименте по изучению реакции выбора. Неправомерность такого отождествления ставит под сомнение и правомерность переноса полученных Х. Лукзаком экспериментальных результатов на реальную деятельность авиадиспетчера. Еще более существенным для нас представляется анализ В. А. Вавиловым позиции В. Н. Пушкина, ввиду того что работы последнего сыграли значительную роль в становлении железнодорожной эргономики. Действительно, в работе В. Н. Пушкина была поставлена более широкая цель — изучение структуры и особенностей психологических механизмов оперативного мышления [7, с. 11]. Причем отметим, что сделал он это впервые в отечественной психологии. Для достижения этой цели автор применил экспериментальное исследование лабораторной модели деятельности железнодорожного диспетчера. В. Н. Пушкин формулирует свою исходную позицию в этом отношении следующим образом: «Единственным способом, который позволяет вскрыть структуру этого процесса (т. е. процесса решения оперативных задач. — В.В.), является эксперимент, воссоздающий в лабораторных условиях типичные моменты оперативных задач» [7, с. 125]. Беря за основу теоретическое положение А. Н. Леонтьева о тождестве структур внутренней идеальной деятельности и деятельности внешней практической, В. Н. Пушкин постулирует психологическое единство трудовой умственной операции и операции сенсомоторной, осуществляемой в трехмерном пространстве [7, с. 72]. При этом ход рассуждений автора В. А. Вавилов представляет в виде следующей последовательности утверждений:

- а) деятельность диспетчера по управлению движением поездов носит умственный характер и состоит в решении оперативных задач [7, с. 48].
- б) решение оперативных задач складывается из выполнения определенных умственных операций, являющихся основной единицей диспетчерского труда [7, с. 71];

- в) операция — это законченное действие по управлению перемещением одной динамической единицы: поезда, локомотива [7, с. 69];
- г) деятельность диспетчера включает в себя операции: во-первых, простые (одно действие), во-вторых, сложные (несколько действий) и, в-третьих, комбинированные, представляющие совокупность простых и сложных операций [7, с. 77];
- д) принимаемые диспетчером решения имеют вид логических операций: конъюнкции, дизъюнкции, импликации [7, с. 105];
- е) умственную деятельность диспетчера удобно представить в виде логической схемы — алгоритма, где логические операции записываются как логические условия, а умственные операции управления движением — как операторы [7, с. 67]; эта деятельность по решению задач может быть представлена в виде программы компьютера [7, с. 128];
- ж) задачи, предъявляемые в эксперименте для изучения оперативного мышления, должны иметь определенные отличительные особенности, существенные для оперативных задач. Прежде всего, они должны содержать две группы условий, элементов задачи — динамических и статических, обладающих ограниченным числом свойств, которые необходимо учитывать при их решении [7, с. 94].

Кроме того, экспериментальные задачи должны решаться последовательно шаг за шагом, с учетом перемещения некоторых объектов в пространстве. Задачи должны иметь несколько решений разной степени оптимальности, а действия по решению задач (шаги) быть простыми и не требовать от испытуемых специальных знаний [7, с. 126].

В итоге В. Н. Пушкин приходит к выводу, что задачи детской игры «5», а также шахматные задачи могут использоваться в лабораторном эксперименте для изучения процессов решения реальных оперативных задач. Однако это не означает, что психологическая сущность и содержание конкретной специфической деятельности железнодорожного диспетчера, решающего оперативные задачи управления железнодорожным движением, отождествляются с психологической сущностью и содержанием действий испытуемого, участвующего в традиционном психологическом эксперименте по решению игровых задач, полностью абстрагированных от реальности. Также нельзя полагать, что использование логических схем (алгоритмов), состоящих из логических условий и операторов, раскрывает их психологическое содержание. Это отчетливо понимал В. Н. Пушкин, когда писал, что «проверка логического условия (то же самое относится к оператору) может быть довольно сложным процессом восприятия, а иногда и интеллектуальной деятельностью, содержание которой не ста-



нет ясней от того, что она будет обозначена определенной буквой» [8]. И далее он говорит о наличии таких процессов, которые в принципе не поддаются описанию с помощью логических схем. Поэтому мы можем говорить об определенной односторонности конкретного экспериментального метода исследования оперативного мышления, но никак не об односторонности методологических позиций В. Н. Пушкина.

Рассмотрим теперь, что же предлагается В. А. Вавиловым [1]. Во-первых, определение оперативной задачи через деятельность позволяет автору установить, что сложность оперативной задачи — системное качество, и зависит она не столько от интеллектуальной трудности задачи, сколько от сложности объекта и его структуры, профессионального опыта человека и его знаний, структуры и состава средств отображения информации и средств оперативного управления, психического состояния человека и условий его деятельности. Отсюда следует, что критерий сложности оперативных задач — полипараметрический. Он может быть формализован и представлен только в некоторой системе, увязывающей воедино субъект деятельности, объект, технические средства деятельности, оперативную направленность и условия деятельности. Во-вторых, В. А. Вавилов предлагает выделить шесть уровней (включая нулевой), абстрагированных от реальности психологической структуры изучаемой деятельности. Нулевому уровню экспериментального моделирования соответствует исследование конкретной деятельности, включенной в общественные отношения, исследование, проводимое в рамках естественного эксперимента. Уровню I — исследование самостоятельной деятельности; II — исследование действий, включенных в деятельность; III — исследование самостоятельных действий; IV — исследование операций, включенных в действие; V — исследование самостоятельных операций. Каждый следующий за нулевым уровень экспериментального моделирования отличается от предыдущего сокращением параметров составляющих эксперимента и уменьшением сложности самого эксперимента и исследуемой части деятельности.

Соответственно шести уровням моделирования деятельности автор предлагает шесть уровней сложности оперативных задач в обратной последовательности: нулевому уровню деятельности соответствует пятый уровень сложности задач, пятому уровню деятельности — нулевой уровень сложности.

В качестве положительного примера применения формально-абстрактных задач для обучения операторов В. А. Вавилов приводит эксперимент М. Хаммертона из лаборатории видного английского когнитивного психолога Д. Бродбен-та. Цель данного исследования состояла в оценке использования для профессионального обучения простых абстрактных моделей вместо дорогостоящих

тренажерных комплексов, точно копирующих реальные объекты управления. В эксперименте моделировалась деятельность железнодорожного оператора, осуществляющего дистанционное управление движением локомотива. Задача испытуемого состояла в том, чтобы с помощью ручки управления как можно быстрее и точнее переместить световое пятно, проецируемое на экран, перед которым находился испытуемый, на один уровень с определенной внезапно появляющейся отметкой. Хотя испытуемый не имел дела ни с локомотивом, ни с железнодорожным полотном и прочими объектами реальности, результаты показали высокую эффективность данной модели для обучения оператора. Д. Бродбент следующим образом аргументирует подход М. Хаммертона к решению проблемы использования абстрактных задач, не связанных с предметным содержанием реальной действительности [10]:

- а) наиболее общим свойством любого поведения (от инстинктивного до речевого) является его составной характер [10, с. 16];
- б) составляющие единицы поведения определяются на основе функциональной цели и образуют иерархическую систему, структура которой может быть представлена в виде программы для компьютера [10, с. 17–18];
- в) каждая составляющая единица поведения может быть реализована широким набором способов [10, с. 16];
- г) главное при моделировании — это воспроизведение не способов выполнения составляющих единиц поведения, а лишь последовательности этих единиц поведения [10, с. 14].

В чем же В. А. Вавилов видит причину успеха моделей действий у М. Хаммертона и неудачу, по его мнению, моделей действий Х. Лукзака и В. Н. Пушкина?

По его мнению, принципиальное отличие экспериментальных моделей деятельности у Х. Лукзака и В. Н. Пушкина от моделей Д. Бродбента и М. Хаммертона состоит в том, что в экспериментах М. Хаммертона была воспроизведена функциональная предметность действий. Именно это и обусловило их успешность. В этом случае было неважно, оперирует ли испытуемый движением поезда или светового пятна, так как при решении и реальной, и формально-абстрактной задачи его действия выполняли одни и те же функции оценки расстояния, выбора оптимальной скорости для прохождения данного расстояния, а также определения момента гашения этой скорости.

По мнению В. А. Вавилова, еще одно существенное различие позиций Х. Лукзака и В. Н. Пушкина от позиции М. Хаммертона и Д. Бродбента состоит в подходе к организации самого эксперимента. У первых двух авторов были использованы с некоторыми модификациями готовые формы психологического эксперимента, традиционно применявшиеся в исследованиях реакции выбора

и решения игровых задач. М. Хаммертон специально разработал форму проведения эксперимента, технические устройства и экспериментальные задания, никогда ранее в психологических исследованиях не применявшиеся. При этом М. Хаммертон перенес в эксперимент очень важную для выполнения изучаемых действий диспетчера часть реальной обстановки диспетчерского пункта: пульт управления движением локомотива.

Теперь попробуем проанализировать подлинное отличие моделей Х. Лукаса и В. Н. Пушкина от моделей Д. Бродбента и М. Хаммертона. Очевидно, что главное отличие этих моделей связано с психологической категорией изучаемого процесса. Характер деятельности авиа- и железнодорожного диспетчера существенно отличается от деятельности испытуемых в модели М. Хаммертона по дистанционному управлению локомотивом.

Поэтому ссылка на то, что все психологические процессы и функции взаимосвязаны и объединены единством деятельности, а также утверждение о том, что М. Хаммертон в своих экспериментах мог изучать не только процесс формирования определенного навыка, но и процесс принятия решения, представляется совершенно необоснованным. Действительно, деятельность оператора в модели М. Хаммертона — это высоко координированная сенсомоторная деятельность слежения, допускающая возможность формального описания поведения человека языком дифференциальных уравнений. Действительность же железнодорожного или авиадиспетчера — это высокоинтеллектуальная деятельность, связанная, прежде всего, с оперативным мышлением, которое разворачивается при возникновении проблемной ситуации, происходящей при необходимости одновременного выполнения взаимоисключающих операций. В результате процесса решения задач, стоящих перед железнодорожным или авиадиспетчером, составляется план, предусматривающий последовательность выполнения совокупности операций, в структуру которого входят различные логические операции: конъюнкции, дизъюнкции, импликации. Большую роль в деятельности диспетчерского состава играют все виды памяти.

В деятельности поездного диспетчера (ДНЦ) можно выделить две формы памяти. Одна связана с запоминанием, сохранением и воспроизведением статических элементов участка: станций, путей и т. д. Другая выявляется в запоминании, сохранении и воспроизведении динамических элементов (поездов, локомотивов) в их отношении к статической системе. Первую форму памяти можно назвать статической — это знание диспетчером своего участка во всех деталях и особенностях и последующее применение соответствующих элементов к решению возникших задач. Вторая форма оперативная, т. е. память на динамические моменты. Кроме этого, постоянно в памяти должно находиться

большое число ограничивающих условий. Решение возникающих в ходе работы задач требует от диспетчера большого внимания: весь участок должен находиться в поле его зрения. Эта способность одновременно схватывать большое количество элементов участка, возможно, благодаря системному характеру восприятия. Иными словами, для процесса работы железнодорожного и авиадиспетчера характерен большой объем мыслительной деятельности, что отмечалось В. Н. Пушкиным и Г. А. Платоновым, исследовавших работу дежурного по станции (ДСП) и поездного диспетчера (ДНЦ) во взаимосвязи с различными психологическими процессами и функциями.

Поэтому можно утверждать, что М. Хаммертон в своем эксперименте изучал именно процесс формирования определенного навыка, но не процесс принятия решений. Теперь несколько замечаний по поводу теории деятельности А. Н. Леонтьева, с позиции которой часто выступают психологические «антиредукционисты». Эта теория пытается объяснить многие сложные психические процессы, развитие и поведение человека упрощенной схемой: операция – действие – деятельность, что также является своеобразной формой редукционизма и далеко не всегда оказывается адекватным методом описания деятельности: необходимо учитывать ее полиструктурность, как и любого сложного реального явления, объекта, процесса. Поэтому совершенно справедливо отмечает В. Ф. Венда, что попытка выдать новые знания за преодоление редукционизма — это миф, который волей или неволей рождают и переживают многие поколения ученых.

Редукция, в случае ее применения при решении прикладных задач в условиях ограниченного времени, а также когда она диктуется логикой потребностей практики и возможностей науки, может быть положительным явлением. Поэтому в процессе профессионального отбора и профессионального обучения операторов должно присутствовать разумное сочетание разных видов моделей: от простых абстрактных моделей до дорогостоящих тренажерных комплексов, точно копирующих реальные объекты управления. Продуктивность такого подхода заключается также не в противопоставлении, а во взаимном дополнении математических и имитационных методов и методов экспериментального психологического анализа. Не случайно монография А. Зигель и Дж. Вольфа «Модели группового поведения в системе человек-машина» [3] стала одной из самых цитируемых в мировой и отечественной литературе по инженерной психологии и эргономике.

В настоящее время при проектировании эргатических транспортных систем для формализованного описания деятельности оператора и в целом функционирования СЧМ все большее значение приобретают математические и имитационные методы.

Математические методы, применяемые в эргономике, должны удовлетворять следующим требованиям: размерности (описанию процессов управления со многими взаимосвязанными переменными), динамичности (учету фактора времени), неопределенности (учету случайных, вероятностных факторов в деятельности оператора), факторности (учету специфических особенностей поведения человека, например напряженности, эмоций и т. д.), описательности (возможности описания внутренних психофизиологических механизмов деятельности человека). Рассмотрим подробнее возможности применения некоторых математических методов при исследовании эргатических транспортных систем, уделив особое внимание железнодорожному транспорту.

## 6.2. Теоретико-информационный подход

В 70–80-е годы прошлого столетия наиболее широкое применение для описания деятельности оператора нашли методы теории информации, теории массового обслуживания, теории автоматического управления. В целом ряде работ того времени использовались методы теории информации, основанной на известной формуле К. Шеннона:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i,$$

где  $P_i$  — вероятность появления сигнала;  $n$  — общее число различных сигналов.

В инженерно-психологической работе Г. А. Платонова, посвященной железнодорожному транспорту также применялись методы теории информации.

Целесообразность количественной оценки информации, основанной на применении формулы К. Шеннона, определялась прежде всего необходимостью определения нагрузки диспетчеров при осуществлении ими производственной деятельности, сводящейся к приему, переработке и передаче информации.

Применимость теории информации к деятельности диспетчера во многом зависит от того, насколько длина внешнего алфавита сигналов и вероятность их появления в случае приема информации и алфавита решений и вероятности их выбора совпадают с субъективным алфавитом и вероятностями сигналов и решений.

В определенной степени, осуществляя руководство движением поездов на участке, диспетчер из некоторого алфавита возможных решений делает серию выборов. В процессе обучения работе диспетчер примерно знакомится с общим числом всех существующих событий и вероятностями встречи с каждым

из них. Кроме того, он усваивает определенные вероятности на каждое событие. Значит, алфавит «закладывается» в систему заранее, и организация действий человека строится на принципе выбора одного из множества решений, более или менее прочно им усвоенных.

Как известно, большинство сообщений — это тоже выбор из серии возможных случаев. Причем такие случаи, как и все проблемные ситуации, возникающие в работе диспетчера, всегда можно разложить или разбить на некоторое число последовательных выборов типа «да — нет», т. е. использовать последовательные дихотомии. Эта процедура, основанная на теории чисел, позволяет последовательно делить все возможные случаи на две части и получать «дерево решений». Не оспаривая правомерность применения теории информации для анализа некоторых характеристик человека-оператора, прежде всего для оценки объема информации в системе диспетчерского управления движением, отметим ограниченность ее применения.

Среди факторов, ограничивающих применение теории информации для изучения деятельности человека-оператора, в том числе и на железнодорожном транспорте, можно выделить следующие:

1. Как отмечалось выше, в основе расчета количества информации по формуле К. Шеннона лежит длина физического алфавита сигналов и вероятностей их появления. Человек же чаще всего пользуется своим внутренним алфавитом, отличным от физического, а субъективные вероятности сигналов для него не всегда совпадают с объективными.

2. Характеристики человека изменяются во времени ввиду его утомляемости, обучаемости и других факторов, а теория информации имеет дело со стационарными процессами, статистические параметры которых неизменны во времени.

3. Теория информации не учитывает смысловую сторону информации, ее ценность и значимость. Для диспетчера или машиниста сообщения, содержащие одинаковые количества информации, рассчитанные по формуле К. Шеннона, могут содержать разный смысл и значение.

4. Теория информации не учитывает временную неопределенность сигналов, а для оператора существенное значение имеет не только факт наличия сигналов и вероятности их появления, но и время, когда эти сигналы поступают.

### 6.3. Моделирование на основе теории массового обслуживания

Для построения моделей деятельности оператора железнодорожного транспорта может использоваться аппарат теории массового обслуживания (ТМО). Как и для теории информации, применение ТМО ограничивается целым рядом условий:

- поступающая к оператору информация должна допускать интерпретацию в терминах входящего потока заявок;
- входящий поток заявок должен быть однородным или допускающим его разделение на однородные группы;
- входящий поток и время обслуживания должны подчиняться определенным законам распределения;
- должна быть установлена система критериальных временных функций, позволяющая оценить эффективность системы массового обслуживания на нестационарных режимах работы.

Приведем два примера применения ТМО для анализа деятельности оператора на железнодорожном транспорте.

*Первый пример* иллюстрирует методику оценки напряженности при проектировании системы диспетчерского управления. Диспетчер может быть представлен информационным процессором, который осуществляет прием, обработку и выдачу управляющего воздействия и затрачивает на это в среднем время  $\bar{\tau}_{оп}$ . Обозначим через  $\bar{\tau}_{пр,доп}$  допустимое время принятия и реализации решения по сопровождению поездов ДНЦ, исходя из интенсивности их движения, определяемых графиками исполненного движения. Основываясь на значениях распределения межпоездных интервалов на участке, представленных в [13, с. 469], можно принять наихудший вариант  $\bar{\tau}_{пр,доп} = 4$  мин. Весь процесс рассмотрим как однофазную систему массового обслуживания с очередью. Источником сообщений являются  $n$  управляемых объектов (поездов), причем сообщения поступают в случайные моменты времени. Плотность потока сообщений от одного объекта равна  $\lambda_i$ , отсюда суммарная плотность  $\lambda = n\lambda_i$ .

Интенсивность обслуживания:

$$\mu = \frac{1}{\tau_{оп}},$$

приведенная плотность входящего потока:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Теперь находим коэффициент загрузки. По своей сущности он представляет вероятность того, что диспетчер занят обработкой поступающих сообщений (на обслуживании имеется хотя бы одно сообщение). Сначала находим вероятность того, что диспетчер не занят обработкой поступающих сигналов (длина очереди  $K = 0$ ):

$$P_0 = 1 - \rho.$$

Тогда коэффициент загрузки равен

$$\rho = 1 - P_0 = \rho.$$

Математическое ожидание периода занятости находится по формуле

$$T_{\text{зан}} = \frac{1}{\mu - \lambda}.$$

Коэффициент очереди представляет собой вероятность того, что на обработке одновременно находится  $K > 1$  сообщения (имеется очередь сообщений). Следовательно, с учетом случаев  $K = 0$  и  $K = 1$

$$\beta = 1 - P_0 - P_1 = 1 - (1 - \rho) - (1 - \rho)\rho = \rho^2.$$

Среднее значение длины очереди сообщений по общим правилам нахождения математического ожидания дискретной случайной величины равно

$$\bar{K} = \sum_{K=0}^{\infty} K P_K = \sum_{K=0}^{\infty} K \rho^K (1 - \rho) = \frac{\rho}{1 - \rho}.$$

Среднее значение времени ожидания (закон распределения времени ожидания примем экспоненциальным) по общим правилам нахождения математического ожидания непрерывной случайной величины равно

$$\bar{\tau}_{\text{ож}} = \int_0^{\infty} \tau e^{-(\mu - \lambda)\tau} d\tau = \frac{\rho}{\mu - \lambda}.$$



Допустимое же время ожидания равно

$$\bar{\tau}_{\text{ож, доп}} = \bar{\tau}_{\text{пр, доп}} - \bar{\tau}_{\text{оп}}.$$

В этой формуле  $\bar{\tau}_{\text{ож, доп}}$  — допустимое время ожидания начала обслуживания;  $\bar{\tau}_{\text{пр, доп}}$  — допустимое время пребывания на обслуживании;

$\bar{\tau}_{\text{оп}}$  — собственно время обслуживания (обработка) сообщения.

На основании экспериментальных исследований коэффициент очереди  $\beta$  не должен превышать 0,4, т. е.  $\beta_{\text{доп}} = 0,4$ .

Значение  $K$ , определяющее длину очереди, соотносится с возможностями оперативной памяти человека. Если значение  $K$  превышает объем оперативной памяти, то возможны случаи пропуска сигналов оператором, возникновения ошибок, что способствует появлению операционной напряженности. Ее среднее значение должно быть несколько меньше и не превышать трех сообщений одновременно.

Наконец, еще один существенный параметр — допустимый коэффициент загрузки  $n_{\text{доп}}$  определяется формулой

$$n_{\text{доп}} \leq 0,75.$$

*Второй пример* иллюстрирует попытку использования моделирования утомления машиниста с применением системы массового обслуживания. Ее приняли Ю. Е. Просвиров, А. М. Добронос, В. В. Асабин [6]. Авторы на основании работы Л. С. Нерсесяна и О. А. Конопкина [4] считают, что в процессе выполнения оператором нескольких возложенных на него функций, имеющих различный приоритет, он соответствующим образом и распределяет свои ресурсы, а именно в первую очередь реализует их на выполнение наиболее приоритетной задачи в ущерб выполнению второстепенной. Можно принять, что машинист локомотива при ведении поезда обязан выполнить три основные функции: выполнение графика при безусловном обеспечении безопасности движения, контроль состояния локомотива и поезда и обеспечение минимального расхода топлива при его ведении. Очевидно, что приоритетность последней выполняемой машинистом функции ниже двух первых, особенно если учесть, что функция контроля состояния локомотива и поезда, как правило, в значительном объеме делегируется помощнику машиниста.

В связи с этим можно предположить, что в процессе своей трудовой деятельности конкретный машинист на фоне накопления усталости все в большей степени будет затрачивать свои ресурсы на реализацию наиболее приоритетной

для него задачи — соблюдение графика и безопасности движения в ущерб менее приоритетной функции — обеспечение рационального ведения поезда.

Авторы показали, что выполнение первой приоритетной функции можно оценить через уровень надежности управляющей деятельности машиниста (УДМ), а рациональность ведения поезда по участку — уровнем рациональности УДМ. Далее нами будет показано, что уровень надежности УДМ при выполнении им двух функций даже на фоне накопления усталости поддерживается машинистом до определенного уровня постоянным. Также отметим, что и продуктивность деятельности оператора продолжает оставаться на устойчивом уровне, хотя его работоспособность уже показала явное снижение.

Гипотетические предположения авторов, что машинист для поддержания качества основной приоритетной функции использует свои ресурсы даже в ущерб менее приоритетной, уровень которой при этом постепенно снижается, имеет под собой психологическое обоснование.

Для этого обратимся к исследованию М. А. Котика, в котором изучалась связь уровня тревоги человека в зависимости от степени физической или социальной опасности. М. А. Котик экспериментально показал, что даже высокая вероятность любого из способов социального наказания у испытуемых не вызывает такого уровня тревоги, как минимальная вероятность смертельной опасности. В этом заключается причина, отмеченной авторами работы [6], своего рода компенсации уровня надежности УДМ за счет величины менее приоритетной функции — уровня рациональности УДМ. Такой характер изменения этих двух показателей будет характерным до того момента, когда исчерпаны резервы такой компенсации. Дальнейшая работа машиниста уже чревата срывом в выполнении основной приоритетной функции (рис. 6.1).

Иными словами, делается предположение о том, что уровень рациональности УДМ косвенно отражает своего рода запас надежности управляющей деятельности машиниста в текущий момент его трудовой деятельности. Следовательно, если имеются доступные для определения количественные показатели, можно судить и об изменении запаса надежности УДМ, что очень важно для предотвращения точки срыва.

При этом необходимо отметить, что деятельность оператора имеет внешнюю и внутреннюю стороны и в процессе его работы необходимо контролировать обе эти стороны. Контроль уровня рациональности в терминологии авторов работы [6] не что иное, как контроль эффективности исполнения машинистом своевременности и правильности предписанного алгоритма деятельности по оптимальному вождению локомотива, т. е. внешней ее стороны. Также следует отметить, что подобный подход к оценке времени наступления срыва,

т. е. заранее свидетельствующий о наступлении у оператора (машиниста) нежелательных состояний, которые могут служить причиной резкого снижения эффективности и надежности его деятельности, является более продуктивным, чем контроль по физиологическим параметрам.

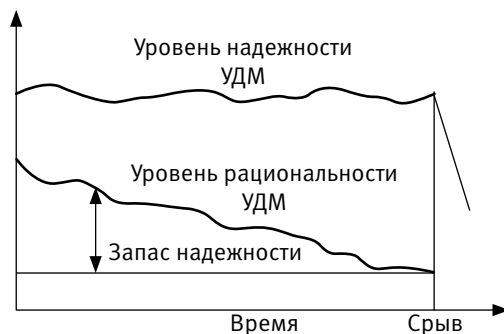


Рис. 6.1. Изменение во времени надежности и рациональности УДМ

Итак, мы показали возможность и целесообразность использования в эргономике и железнодорожной инженерной психологии некоторых методов математического моделирования.

Разработка методологических и методических проблем математического моделирования в эргономике и инженерной психологии продолжается, учитывая преимущества математических моделей над другими: точность, формализация, обобщенность, простота использования.

Но для эффективного управления эргатической системой, каковой является железнодорожный транспорт, необходимо развить средства анализа вариантов взаимодействия оператор-система, выработать количественные методы предсказания поведения человека в ответ на реальные операционные ситуации для различных альтернатив в построении системы. Такие возможности предоставляет имитационное моделирование на ЭВМ.

Ввиду того что имитационное моделирование поведения человека в железнодорожных системах практически не разработано, представляется необходимым подробнее остановиться на этой проблеме.

Прежде всего при разработке моделей сложных систем человек-машина нужно учитывать, что имитационное моделирование сопряжено с ограничениями на число переменных, используемых в модели. В известных нам имитационных моделях СЧМ наряду с данными о работе технических устройств учитывались такие переменные, как состояние напряженности, моральные качества отдельных операторов, спаянность коллектива.

Моделирование сложных систем человек-машина часто более затруднительно, чем моделирование физических систем, поскольку: во-первых, фундаментальных законов, или «главных принципов», в науке о поведении очень мало; во-вторых, соответствующие процедурные элементы часто трудно описать и представить; в-третьих, поведение обычно управляется стратегическими и политическими факторами, причем их влияние трудно выразить в количественной форме; в-четвертых, во многих аспектах поведения существенными элементами могут быть случайные компоненты; в-пятых, неотъемлемой частью таких систем становятся способности человека к принятию решений и решению задач.

## 6.4. Классификация имитационных моделей СЧМ

В литературе, посвященной имитационному моделированию СЧМ, можно найти разные типы имитационных моделей.

Например, Роуз [12] определяет следующие пять категорий моделей: модели, основанные на теории оценивания; модели теории управления; модели теории массового обслуживания; модели, основанные на теории нечетких множеств; модели на основе продукционных систем. Б. А. Смирнов [5] подразделяет имитационные модели на два основных вида: модели решения оператором отдельной конкретной задачи и модели функционирования в условиях потока таких задач (модели обслуживания).

Исходя из современного состояния проблемы имитационного моделирования СЧМ, нам представляется более правильно рассматривать следующие три типа моделей поведения человека:

1. Когнитивные модели.
2. Модели теории управления.
3. Сетевые модели задач.

*Когнитивные модели* имитируют такие мыслительные процессы высокого уровня, как активное запоминание, хранение и извлечение информации, сравнительные суждения и оценки, принятие решений и решение задач. Подобные модели могут содержать в себе некоторую предопределенную логику или использовать концепции искусственного интеллекта для имитации познавательной деятельности человека. С точки зрения оценивания структуры системы хорошая когнитивная имитационная модель должна корректно предсказывать некоторые специфические аспекты действий оператора при ре-

шении задач и принятии решений. Вместе с тем это не означает, что модель обязательно должна давать наилучшие решения или обеспечивать наиболее быстрое решение задач.

При моделировании действий оператора в системах когнитивные модели издавна применялись для описания разнообразных типов человеческого поведения. Действительно, широкий круг вопросов взаимодействия оператора с системой связан с механизмами когнитивного поведения высокого уровня. Наука о мышлении — когнитология, — возможно, и будет вносить в будущем непрерывно возрастающий вклад в методы моделирования систем. В настоящее время, однако, когнитивные модели еще довольно громоздки и имеют ограниченное применение. Как следствие, методы построения когнитивных моделей пока еще недостаточно разработаны и малопригодны для практического использования специалистами по эргономике и инженерной психологии при разработке систем. Кроме того, когнитивное поведение сильно подвержено эмоциональным реакциям. Мы обратились к когнитивным моделям при разработке адаптивной обучающей системы (глава 13), и к ним следует обращаться во всех тех ситуациях, когда проблемы создания системы оказываются тесно связанными с познавательными задачами оператора.

*Модели теории управления* — это модели точного управления моторными реакциями. Хотя подобные модели применялись и к другим типам задач моделирования, все же они лучше всего подходят для имитации профессиональных психомоторных действий обученных операторов. Человек в моделях теории управления рассматривается как «оптимальный регулятор» с соответствующим набором параметров, которые определяют запаздывания на входе, упреждения выходных реакций и ряд других характеристик, связанных с возможностями и ограничениями, присущими человеку. Хотя для задания значений этих параметров необходимо располагать экспериментальными данными, после их введения такие модели очень хорошо предсказывают поведение системы в самых разных условиях. Современный обзор структурно-функциональных моделей поведения человека-оператора, работающего в режиме слежения за непрерывным сигналом, представлен в работе Г. Г. Себрякова [9]. Возможность и полезность применения этого вида моделей доказана в целом ряде приложений [5].

*Сетевые модели задач* представляют собой продукт развития ряда технологий описания задач, разработанных в 1980-х гг., таких как фундаментальные диаграммы и диаграммы последовательностей операций. Для исследования подобных моделей созданы специальные языки программирования. Эти языки облегчают изучение динамики событий и анализ их влияния на деятельность

оператора в рамках заданной архитектуры системы, определенной в виде некоторого статического описания (например, диаграммы последовательности операций).

В сетевых моделях задач целенаправленная деятельность человека разделяется на последовательность подзадач, соотношения между которыми определены структурой сети. Каждый узел сети — это отдельная подзадача, выполняемая человеком. Структура сети задает порядок выполнения подзадач. Элементами структуры сети могут быть ветвления, отражающие альтернативные решения или действия. Циклы используются для представления повторяющихся действий, последствий ошибок или воздействий неблагоприятных условий окружающей среды. Таким образом, подзадача, выполняемая человеком на любой заданной стадии прогона модели, определяется активным в данный момент узлом сети. С каждым узлом связаны следующие типы информации.

1. Время завершения подзадачи.

2. Идентификатор следующей подзадачи, если она всегда следует за данной подзадачей.

3. Список идентификаторов возможных последующих подзадач и правило выбора одной из них (и только одной), если за данной подзадачей могут следовать несколько альтернативных подзадач.

4. Определенное пользователем соотношение, в котором описывается, какое влияние оказывает система на действия человека, какое влияние оказывает действие человека на систему, а также характер воздействия и того и другого на переменные, содержащиеся в правиле выбора следующей подзадачи.

5. Имя подзадачи, которое служит идентификатором данного узла сети.

В то время как сетевые модели, по-видимому, лучше всего подходят для имитации процедурных действий человека, языки моделирования, используемые для исследования сетей задач, позволяют также анализировать когнитивные модели и модели теории управления. Например, если некоторая подзадача сети включает в себя поведение, связанное с принятием решений, то ее можно смоделировать на основе когнитивного подхода, а те задачи, в которых содержатся элементы психомоторного поведения, могут быть смоделированы с привлечением теории управления. Так как во многих системах требуется сочетание задач управления, процедурных задач и задач, включающих в себя некоторый уровень когнитивного поведения (например, принятие решений), считается, что существующие языки моделирования сетей задач идеально подходят для имитации деятельности человека во многих типах систем, а не только в тех системах, где эта деятельность имеет чисто процедурный характер.

Дополнительно заметим, что, поскольку сетевые модели структурированы в рамках процедурных задач оператора, определенных в ходе стандартного анализа задач, они являются естественным расширением современной практики эргономики.

Основное внимание в этой главе уделено разработке имитационных моделей транспортных систем человек-машина на основе сетей задач. В процессе создания моделей следует, однако, помнить, что существуют и другие типы моделей оператора и что они могут быть включены в общую сетевую модель системы.

Когда перечисленные атрибуты определены для каждой подзадачи, можно создать машинную сетевую модель задачи, используя любой из имеющихся языков аналитического или имитационного моделирования, предназначенных для анализа сетевых структур. После того как модель реализована с помощью выбранного языка, можно экспериментировать с ней, варьируя атрибуты подзадач или саму структуру сети. Например, если нас интересует общий эффект, который произведет замедленное выполнение одной или нескольких подзадач, мы можем изменить у этих подзадач атрибут «время выполнения» и осуществить повторный прогон имитационной модели. Так как времена выполнения могут иметь вероятностный характер (т. е. представлять собой случайные выборки из некоторого заданного распределения), можно получить оценку распределения вероятностей полного времени выполнения сети подзадач.

## 6.5. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте

Машинное моделирование — это процесс построения логико-математической модели, предполагаемой или существующей системы человек-машина и экспериментирование с этой моделью на ЭВМ. Машинное моделирование включает в себя как стадию построения модели, так и стадию планирования и реализации соответствующих экспериментов с этой моделью. Моделирование представляет собой имитацию некоторой реальной (или воображаемой) системы. Очень часто эта система может быть либо недоступной для использования, либо то, что мы хотим сделать с ней (или с ее помощью), не будет разрешено, либо то, что мы хотим сделать с помощью реальной системы (или с ней самой), настолько дорого или рискованно, что мы просто не можем себе этого позволить. Такой сверхбольшой системой, где эксперименты в реальных условиях невозможны, является железнодорожный транспорт.

Вопрос теперь состоит в том, как построить подходящую имитационную модель, исследовать ее поведение и обобщить полученные результаты на интересующую нас систему.

В большинстве инженерных дисциплин машинное моделирование систем в ходе их разработки применяется уже давно. Сегодня лишь в редких случаях создание интегральной схемы, подвесного моста или производственной линии не сопровождается тем или иным видом машинного моделирования с целью определения свойств будущего изделия. В последнее время разработаны специальные средства для моделирования перевозочного процесса железнодорожного транспорта.

Специалисты в области информационных технологий на железнодорожном транспорте П. А. Козлов, Д. Ю. Левин, А. С. Мишарин, А. П. Тулупов считают, что для таких сверхсложных систем, как железнодорожный транспорт, невозможно организовать оптимальное управление, не имея адекватной математической модели. С помощью моделей работы станций, перегонов, участков, линий, направлений можно планировать предстоящую работу, заблаговременно выявлять затруднения и несоответствия, регулировочными мерами устранять препятствия и вырабатывать управляющие решения.

Д. Ю. Левин отмечает важность создания следующих моделей перевозочного процесса:

- накопление составов;
- регулирование локомотивным парком;
- организацию выгрузки;
- обеспечение погрузки;
- управление вагонным парком.

Среди объектов в первую очередь он выделяет:

- сортировочные станции и железнодорожные узлы;
- грузовые фронты, включая крупные промышленные предприятия, порты, погранпереходы;
- участки и перегоны;
- локомотивные депо;
- сеть железных дорог и регионы.

Это список, с которого наиболее целесообразно начинать создание моделей объектов железнодорожного транспорта. В дальнейшем этот список моделей будет значительно расширен, а организация их взаимодействия позволит в различных модификациях создать общую модель перевозочного процесса. Так же, как привычными стали АРМ диспетчерского аппарата, со временем неотъемлемой частью рабочего места всех руководителей станут модели пере-



возочного процесса. Невозможно будет представить, по мнению ведущих специалистов в области информационных технологий, как можно решать без моделей следующие задачи:

- формирование инвестиционной политики на перспективу;
- этапное развитие сети железных дорог и отдельных предприятий;
- технико-экономическое обоснование технического оснащения;
- оперативное управление и нормирование эксплуатационной работы;
- эффективное использование подвижного состава;
- оптимальное использование ресурсов инфраструктуры, пропускной, перерабатывающей и выгрузочной способности объектов.

В этой связи, по нашему мнению, большое значение приобретает и моделирование деятельности человека. в том числе его поведения в такой сложной сверхбольшой эргатической системе, каковой является железнодорожный транспорт.

## 6.6. Имитационное моделирование транспортных человеко-машинных систем

Модели человеко-машинных систем обладают своими собственными внутренними проблемами. Даже простые описательные модели не лишены этих проблем, тем более сложные математические. Многие из них, особенно касающиеся познавательных, мыслительных процессов (например, принятия решений), настолько сложны, что даже трудно представить возможность их проверки. Однако, если такие модели дают возможность прогнозирования, их можно считать полезными.

Сравнительно легко составить перечень факторов, которые могут быть учтены в математической модели, но, если нет возможности установить корреляцию между ними и точными данными, она не имеет ни научной, ни практической ценности. И тогда математическое моделирование может стать больше развлечением, чем практически важным делом.

Для оценки эффективности функционирования человека-оператора или группы операторов в эргатической системе разработаны специальные математические модели их деятельности. В их основу для имитации вероятностно-временных характеристик положен метод Монте-Карло. Деятельность оператора представляют в виде набора отдельных операций. Степень расчленения зависит от целей расчета. Время выполнения каждой операции  $t_{\text{оп}}$  включает две составляющие:

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{од}} + t_{\text{рез}},$$

где  $t_{\text{од}}$  — время основной деятельности оператора в ходе выполнения операции  $i$ ;  
 $t_{\text{рез}}$  — резерв времени в ходе выполнения операции  $i$ .

Резерв времени характеризует не какие-либо индивидуальные качества оператора, а в данном случае только возможности конкретной технической части системы, внешние условия в зоне выполнения работы и др. Поэтому принято считать эту составляющую постоянной для каждой из рассматриваемых операций. Время основной деятельности, наоборот, характеризует индивидуальные качества операторов, степень их обученности, тренированности и распределено по усеченному нормальному закону.

Операции, выполняемые оператором, подразделяются на существенные и несущественные. Если он не выполнит существенную операцию, то сорвет решение задачи. Невыполнение или пропуск несущественной операции лишь снизит общий эффект деятельности человека в системе, в частности точность работы. Разность между временем, отведенным на выполнение задачи, и необходимым для этого временем составляет внешний резерв, или дефицит, а суммарное время всех несущественных операций — внутренний резерв. При дефиците времени оператор может пропускать ближайшие (в порядке следования) несущественные операции. Если упущенное время наверстывается, оператор выполняет все без исключения последующие операции. Этот принцип положен в основу модели, предложенной американскими учеными А. Зигелем и Дж. Вольфом, которые рассматривают три возможные ситуации. Первая характеризуется достаточным временем для выполнения абсолютно всех операций и называется несрочной. Вторая наблюдается, если в распоряжении оператора времени достаточно для выполнения только существенных операций. Это срочная ситуация. И, наконец, в третьей крайне срочной ситуации оставшегося у оператора времени недостаточно для выполнения даже необходимых существенных операций. Считается, что на эффективность функционирования человека-оператора непосредственно воздействует именно эта крайне срочная ситуация.

В основе модели лежит предположение о том, что недостаток времени, оставшегося на проведение существенных операций, если их выполнять с нормальной скоростью и эффективностью, вызывает у оператора состояние напряженности (стресса). Напряженность эта определяется как внутреннее состояние оператора перед выполнением очередной операции. Нарастание напряженности рассматривается как воздействие, стимулирующее оператора до тех пор, пока ее значение остается ниже порогового  $M_{\text{п}}$ . Когда напряженность превышает

ет пороговое  $M_n$ , воздействие становится дезорганизирующим. Функция напряженности представлена как отношение времени, необходимого для выполнения задания, к фактически имеющемуся в распоряжении оператора. Для конкретной операции  $i$  напряженность оператора  $j$ :

$$S_{ij} = \overline{T_{ij}^E} / (T_j - T_{ij}^u),$$

где  $\overline{T_{ij}^E}$  — время, необходимое для выполнения оставшихся (после  $i$ -й) существенных операций;

$T_j$  — время, отведенное на выполнение всего задания;

$T_{ij}^u$  — время, затраченное на выполнение операций, предшествующих  $i$ -й операции.

Напряженность в модели принимает значения от 1 до 5. При совместной работе двух операторов может появиться дополнительная напряженность, учитывающая состояние партнера. Человеку часто безразлично, насколько точно и уверенно действует его партнер.

Следует отметить, что наряду с традиционными для железнодорожного транспорта группами из двух операторов, осуществляющих совместную деятельность, — станционный диспетчер-оператор, машинист локомотива — помощник машиниста, машинист — машинист в случае ведения соединенного поезда, нас будет интересовать группа машинист локомотива — система автотоведения.

Зигель и Вольф определили суммарную напряженность человека-оператора  $A_{ij}$ .

$$A_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если партнер работает без напряжения, т.е. } S'_{ij} = 1; \\ \frac{S'_{ij} - 1}{M'_{nj} - 1}, & \text{если } 1 < S'_{ij} \leq M'_{nj} \text{ т.е. партнер находится} \\ & \text{в состоянии умеренной напряженности;} \\ 1, & \text{если } S'_{ij} > M'_{nj} \text{ т.е. партнер находится} \\ & \text{в состоянии умеренной напряженности} \end{cases}$$

где  $A_{ij}$  — аддитивный стресс;

$S'_{ij}$ ,  $M'_{nj}$  — соответственно значения напряженности и порог стресса партнера (оператора  $j'$ ).

Порог стресса  $M_n$  рассматривается как предельно допустимая напряженность оператора. Значения  $M_n$  лежат в интервале 1,9—2,8 и характеризуют область

значений  $M_{nj}$ , в пределах которой модель обеспечивает предсказуемую точность. Порог стресса  $M_n = 2,3$  соответствует среднему человеку. Значения 1,9–2,2 характерны для более спокойных, а 2,4–2,8 — для менее спокойных людей.

Модель А. Зигеля и Дж. Вольфа позволяет оценить и уверенность каждого оператора в своем партнере при совместной работе. Этот показатель оценивается отношением

$$C_{ij} = \frac{S_{ij}S_{ij'} - 1}{M_{nj}M_{nj'} - 1},$$

где  $S_{ij}$ ,  $S_{ij'}$  — соответственно напряженности операторов  $j$  и  $j'$ ;

$M_{nj}$ ,  $M_{nj'}$  — соответственно пороговые значения их напряженности.

Если ни один из операторов не находится в состоянии напряженности, то  $C_{ij} = 0$ ; если напряженность обоих операторов достигает соответствующих пороговых значений, то  $C_{ij} = 1$ . Возрастание этого показателя свидетельствует об увеличении дисгармонии в группе.

Чтобы определить фактическое время выполнения операции  $i$  при различных значениях напряженности оператора  $j$ , в модели использованы следующие расчетные формулы:

$$t_{ij} = \begin{cases} F_j V_{ij} / Z_{ij}, & \text{если } S_{ij} < M_{nj}; \\ \left[ (2S_{ij} + 1 - 2M_{nj})V_{ij} - (S_{ij} - M_{nj})\bar{t}_{ij} \right] F_j, & \text{если } M_{nj} \leq S_{ij} \leq M_{ni} + 1; \\ (3V_{ij} - \bar{t}_{ij})F_j, & \text{если } S_{ij} > M_{nj} + 1; \\ V_{ij} = \bar{t}_{ij} + k_{ij}\sigma_{ij} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = -1,829 \left( \frac{S_{ij} - 1}{M_{nj} - 1} \right)^3 + 3,472 \left( \frac{S_{ij} - 1}{M_{nj} - 1} \right)^2 - 2,35 \frac{S_{ij} - 1}{M_{nj} - 1} + 1,$$

где  $\bar{t}_{ij}$  — среднее время выполнения оператором  $j$  операции  $i$ ;

$\sigma_{ij}$  — среднее квадратичное отклонение среднего времени для среднего оператора, не находящегося в состоянии напряженности;

$k_{ij}$  — независимая нормально распределенная случайная переменная с нулевым математическим ожиданием и единичным среднеквадратичным отклонением;

$F_j$  — коэффициент, учитывающий индивидуальные особенности оператора, изменяется в пределах 0,7–1,3 (для среднего оператора  $F_j = 1$ ; для операторов, работающих быстро, —  $F_j < 1$ , а работающих медленно —  $F_j > 1$ ).

Графически среднее время выполнения, затрачиваемое оператором на выполнение подзадач в зависимости от напряженности, представлено на рис. 6.2.

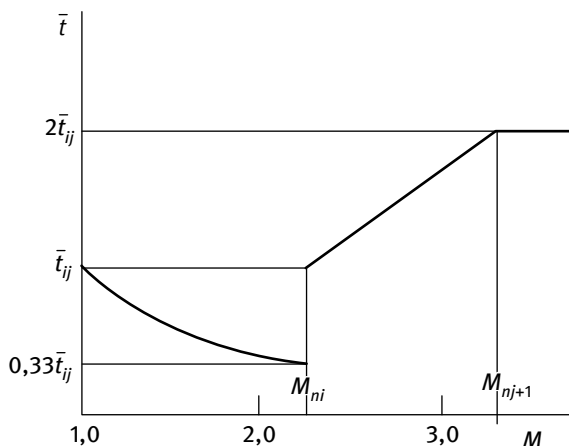


Рис. 6.2. График зависимости среднего времени выполнения человеком операции от напряженности:  
 $M_{nj}$ ,  $M_{nj+1}$  — соответственно пороговые значения напряженности;  
 $\bar{t}_{ij}$  — среднее время выполнения оператором  $j$  операции  $i$

Из этого графика видно, что исходное значение  $\bar{t}_{ij}$  используется без изменений, когда суммарная напряженность  $S_{ij} = 1$ , уменьшается в соответствии с некоторой эмпирически определенной кубической функцией при возрастании  $S_{ij}$  до порогового значения  $M_{nj}$ , а также увеличивается линейно при возрастании  $S_{ij}$  до  $M_{nj} + 1$ , после чего значение  $\bar{t}_{ij}$  остается постоянным и равным  $2\bar{t}_{ij}$ . Аналогичный вид имеет и зависимость среднеквадратичного отклонения  $\bar{\sigma}_{ij}$ , только ее величина при  $S_{ij} = M_j + 1$  будет составлять  $3\bar{\sigma}_{ij}$ .

При выполнении подзадач (операций) человек-оператор может столкнуться с успехом или неудачей.

В модели Зигеля—Вольфа предполагается, что с ростом напряженности оператора вероятность успешного выполнения подзадачи линейно возрастает от значения  $\bar{p}_{ij}$  (задается как входной параметр подзадачи) до единицы (полная определенность) при пороговом значении напряженности. В этой же точке вероятность принимает среднее значение  $\bar{p}_{ij}$ , после чего она линейно убывает до тех пор, пока величина напряженности не становится равной  $M_j + 1$ . При дальнейшем нарастании напряженности вероятность становится равной величине, которая меньше  $\bar{p}_{ij}$  на  $(1 - \bar{p}_{ij})$ . Чтобы обеспечить все эти условия, фактическая вероятность успешного выполнения данной подзадачи  $p_{ij}$  задается как функция параметров  $\bar{p}_{ij}$ ,  $s_{ij}$  и  $M_j$  следующим образом:

$$p_{ij} = \begin{cases} \bar{p}_{ij} + \frac{(1 - \bar{p}_{ij})(s_{ij} - 1)}{M_j - 1}, & \text{если } s_{ij} < M_j; \\ \bar{p}_{ij} + (1 - \bar{p}_{ij})(s_{ij} - M_j), & \text{если } M_j \leq s_{ij} \leq M_j + 1; \\ 2\bar{p}_{ij} - 1, & \text{если } s_{ij} > M_j + 1. \end{cases}$$

Чтобы определить фактический успех или неудачу при выполнении любой подзадачи, ЭВМ генерирует псевдослучайные числа  $R_3$ , равномерно распределенные в единичном интервале. Считается, что оператор выполнит задачу успешно, если  $R_3 < p_{ij}$ ; в противном случае засчитывается неудачный исход. Это означает, что при длительном прогоне частота неудач будет стремиться к вероятности  $p_{ij}$ .

Для облегчения вычислений эти выражения были преобразованы таким образом, чтобы показывать успешность выполнения действий, если удовлетворяются неравенства

$$\frac{(M_j - 1)R_3 - s_{ij} + 1}{M_j - s_{ij}} < \bar{p}_{ij},$$

когда  $s_{ij} < M_j$ ;

$$\frac{s_{ij} - M_j + R_3}{s_{ij} - M_j + 1} < \bar{p}_{ij},$$

когда  $M_j \leq s_{ij} \leq M_j + 1$ ;

$$\frac{R_3 + 1}{2} < \bar{p}_{ij},$$

когда  $s_{ij} > M_j + 1$ .

В зависимости от успеха или неудачи использование исходной информации позволяет определить подзадачу, которая должна выполняться на следующем шаге.

## 6.7. Пример имитационного моделирования деятельности

Наибольший интерес в настоящее время представляет имитационное моделирование деятельности человека-оператора в условиях его взаимодействия с различными автоматическими и информационными системами. Математическое моделирование деятельности человека-оператора является средством приближенной оценки влияния конструктивных параметров рабочего

места человека-оператора в эргатической системе (ЭС) на эффективность его операторской деятельности. В известной и доступной нам литературе наиболее разработанной и приемлемой моделью в качестве прототипа при моделировании транспортных систем «человек-машина» может быть признана модель ЭС «судно — оператор — устройство предотвращения столкновения судов (УПСС)». В основу этой модели положена описанная выше модель Зигеля и Вольфа. Далее изложим методику авторов этой модели, потому что она, по нашему мнению, может быть использована при моделировании систем «человек-машина» с одним или двумя операторами в контуре управления и в железнодорожных системах. Рассмотрим ЭС типа «судно — оператор — устройство предотвращения столкновений судов (УПСС)». Модель деятельности человека-оператора входит в состав имитационной модели всей ЭС. При этом следует иметь в виду, что адаптация этой методики для исследования и оценки разных ЭС, требует замены таких программных элементов, как описание объекта управления, описание устройства управления, алгоритмы обнаружения ситуаций, дает возможность адаптировать модель для исследования и оценки разных ЭС. При конкретном моделировании значения параметров модели берутся как из справочников по эргономике, так и из экспериментальных исследований.

Целью исследования имитационной модели «судно — оператор — УПСС» является оценка надежности (уровня безопасности) системы, психофизических нагрузок оператора, качества деятельности оператора по показателям своевременности и безошибочности выполнения им своих функций при расхождении судов.

Основными переменными модели являются числовые характеристики элементов структуры деятельности и значения психофизиологических характеристик оператора, его напряженность и функциональное состояние, ситуации расхождения в системе «собственное судно (СС) — встречный объект (ВО)», показатели качества деятельности оператора и надежности системы.

*Принятие решения человеком-оператором при расхождении судов.* Анализ деятельности оператора при расхождении судов позволил авторам выделить 12 ситуаций расхождения в системе «СС — ВО». Ситуации можно идентифицировать исходя из взаимного расположения СС и ВО и информации, считываемой УПСС.

Основным элементом деятельности оператора при расхождении судов является принятие решений, заключающихся в осуществлении действий, связанных с необходимостью сохранить или изменить содержание своей деятельности в условиях неизменной или изменившейся ситуационной обстановки. Распознавание каждой из рассмотренных ситуаций вызывает определенную

последовательность действий оператора при конкретном расхождении судов, таким образом развернутую во времени реализацию структуры его деятельности.

Последовательность принятий решений определяется закономерной сменой ситуаций и может быть изображена в виде замкнутого вероятностного графа с обратными связями. Вершины графа соответствуют решениям, ребра — опознанным ситуациям.

Если анализировать деятельность ДНЦ, то также необходимо выделить набор ситуаций, разрешение которых требовали бы от него разной степени напряженности. Поясним это на примере скрещения и обгона поездов на однопутном участке.

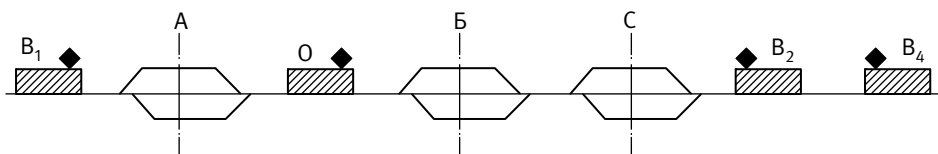


Рис. 6.3. Схема расположения поездов на участке

Ситуация первая: поезд  $B_2$  (рис. 6.3) не обгоняется поездом  $B_4$  и вопрос о скрещении поездов  $O$  и  $B_2$  решается без учета поезда  $B_4$ . В расчет принимается только расстояние  $O-B_2$ .

Ситуация вторая: поезд  $B_2$  обгоняется поездом  $B_4$ . В этом случае при принятии решения необходимо учесть это обстоятельство, приняв в расчет отношение расстояний  $O-B_2$  и  $B_2-B_4$ .

*Напряженность деятельности человека-оператора.* Большинство причин, обуславливающих нагрузку человека-оператора, можно учесть в переменной, которая описывает напряженность оператора. В модели деятельности ДНЦ должны быть учтены следующие факторы, влияющие на изменение напряженности оператора: его скоростные возможности; опыт оператора в данном виде деятельности; характеристики подвижности центральной нервной системы (ЦНС) оператора; функциональное состояние (ФС) оператора; число объектов, за которыми осуществляется слежение; разнообразие ситуаций поездной обстановки; необходимость повторения оператором действий по вводу информации в ЭВМ об объектах слежения из-за ошибок, допущенных им в предыдущих циклах ввода информации.

В литературе по эргономике, психологии труда и инженерной психологии принято подразделять напряженность на операционную и эмоциональную. Операционная напряженность возникает вследствие сложности выполняемой



работы, эмоциональная — в результате действия отрицательных эмоциональных раздражителей. Операционную напряженность труда диспетчера можно определить плотностью различного рода информации, которую он воспринимает в течение рабочего дня. При оценке ее необходимо учитывать темп и равномерность поступления информации, а также соотношение полезных и второстепенных сообщений в ее потоке.

Информационная загрузка ДНЦ, как и других представителей диспетчерского персонала (ДСП, энергодиспетчеров), на напряженных участках достигает весьма значительных величин. Общее количество операций приема и передачи информации, связанных с переключением внимания, восприятием сообщений и отдачи команд за двенадцатичасовую смену составляет 1500–2000, т. е. в среднем 2–4 в минуту. Это соотношение уменьшилось в настоящее время в условиях автоматизированных рабочих мест, позволяющих сократить затраты времени на получение информации в реальном времени и автоматизировать часть рутинной работы ДНЦ и ДСП, например ввести автоматизированное ведение графика исполненного движения.

Введение в практику диспетчерского управления диспетчерской централизации и программно-технических комплексов, прежде всего АСОУП ГИД — УРАЛ и др., повышают производительность труда и его эффективность, резко ускоряют регулировочные воздействия диспетчера на процесс движения поездов по участку. Но при этом возрастает и разнообразие выполняемых операций и степень их совмещения. В этих условиях увеличивается нагрузка на всю когнитивную сферу человека, отсюда операционная напряженность труда существенно возрастает.

Теперь рассмотрим природу эмоциональной напряженности. Любая ответственная и опасная ситуация с неизбежностью вызывает эмоциональное напряжение, которое входит составной частью в сложный комплекс адаптации человека к внешней среде. На этой основе создается оптимальный уровень для психофизиологических ресурсов организма в соответствии с требованиями ситуации. Вместе с тем механизм эмоциональной стимуляции имеет предел, превышение которого сопровождается дезинтеграцией физиолого-биологических процессов, нарушением психической деятельности и поведения человека. Именно превышение этого предела и создает стресс, т. е. такое эмоциональное состояние, характеризующееся временным понижением различных психических функций (памяти, внимания и др.), а также работоспособности, что крайне нежелательно в процессе операторской деятельности. Состояние эмоционального напряжения операторов может протекать с преобладанием процессов возбуждения или с преобладанием тормозных реакций.

Если рассматривать особенности эмоционального напряжения диспетчерского персонала железнодорожного транспорта, то надо отметить, что оно вызывается дистанционным характером управляющей деятельности диспетчера, которая требует создания в его мозгу адекватной пространственно-временной динамической информационной модели управляемого участка; стохастическим характером изменений перевозочного процесса; вероятностным характером предварительного планирования и экстраполирования поездной ситуации; сложностью и большим числом решаемых оперативных задач; частотой принятия и осуществления решений при остром дефиците времени, а также большой личной ответственностью. Диспетчеры, как правило, люди с особым чувством ответственности за порученное им дело, к тому же и спрос с них довольно высокий. Между тем в процессе рабочей смены различного рода помехи, неполадки возникают довольно часто, иногда возможны и аварийные ситуации. Причина этого — неудовлетворительное или неточное исполнение своих обязанностей или недисциплинированность кого-либо из подчиненных, что, естественно, вызывает острые эмоциональные реакции, граничащие с приступами гнева.

В качестве примера приведем один сравнительно простой случай, происшедший на одной из дорог и описанный в [8].

Пассажирский поезд пришел на участок с опозданием на 1 час. Задача диспетчера состояла в том, чтобы по возможности сократить опоздание пассажирского поезда. Впереди поезда следовали два грузовых состава. Проанализировав ситуацию, диспетчер делает вывод: для сокращения опоздания пассажирского поезда необходимо увеличить скорость грузовых, чтобы дать возможность пассажирскому поезду следовать не замедляя хода. Но для ускорения движения грузовых поездов необходимо сократить время на их техническую обработку на одной из станций участка. Диспетчер вызывает к селектору дежурного по данной станции и объясняет создавшееся положение. Затем отдает приказ — вызвать раньше кондукторскую бригаду и предложить мастерам как можно быстрее обработать поезда. Дежурный по станции сообщает, что все необходимые меры будут приняты.

Но в это время с промежуточной станции приходит сообщение, что у одного из грузовых поездов, следующего впереди пассажирского поезда, дымятся буксы и что необходима срочная остановка. Это неожиданное сообщение нарушает весь план диспетчера.

Диспетчер вынужден остановить поезд с горящими буксами на ближайшей станции. Но в поезде 90 вагонов, а длина путей этой станции позволяет вместить не более 40 вагонов, т. е. поезд, остановившись, перекроет все пути

и застопорит движение идущих за ним поездов. Диспетчер связывается с машинистом и дает указание расцепить поезд на две части, поставить голову поезда на другой путь и освободить таким образом путь для других поездов. Маневры затягиваются. Другие поезда останавливаются у входного сигнала. Создалась пробка. Диспетчер волнуется и в резких тонах торопит исполнителей маневров.

В это время диспетчера по селектору вызывает кондуктор остановившегося грузового поезда и сообщает, что произошло недоразумение: дежурная по станции неправильно поняла его сигналы, буксы в порядке и задержка и расчленение поезда были не нужны. Это сообщение вызывает аффектный взрыв со стороны диспетчера. Задача не решена — пассажирский поезд задержан, остальные поезда тоже вышли из графика.

Процесс анализа данной задачи протекал на фоне постоянных сообщений с других станций относительно следования поездов по другим перегонам. Эти сообщения также нуждались в анализе и в максимально быстром ответе.

Проведенный анализ напряженности позволяет определить ее зависимость для последующего имитационного моделирования. Можно считать операционную напряженность как *темповую* напряженность, а эмоциональную как *ситуационную*. Общая же напряженность носит характер кумулятивной функции темповой и ситуационной напряженности деятельности оператора.

В модели общая напряженность представлена как кумулятивная функция темповой напряженности и ситуационной напряженности деятельности оператора. Значение общей напряженности определяет в модели требования к объему работ, который должен быть выполнен оператором для решения стоящих перед ним задач, по сравнению с тем объемом, который он выполняет при отсутствии напряженности; значение общей напряженности изменяется от 1 до 5 [3].

Темповая напряженность определяется для тех последовательностей действий оператора, составляющих подструктуры его деятельности, которые должны быть выполнены за фиксированный промежуток времени.

В рассматриваемой модели они названы *F*-подструктурами. Темповая напряженность вычисляется как отношение  $s_{i1} = T_{i\text{сум}} / (T - T_{i\text{зат}})$ , где  $T_{i\text{сум}}$  — сумма средних времен выполнения оставшихся действий в подструктуре;  $T_{i\text{зат}}$  — время, затраченное оператором на выполнение действий подструктуры, предшествующих *i*-му;  $T$  — фиксированный временной интервал, за который должна быть выполнена данная *F*-подструктура;  $s_{i1}$  — темповая напряженность перед выполнением *i*-го действия подструктуры. Вид зависимости между напряженностью  $s_{i1}$  и величиной  $T_{i\text{зат}}$  представлен на рис. 6.4.

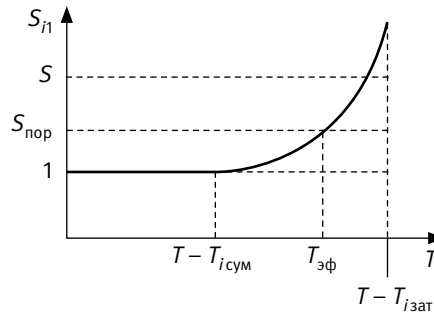


Рис. 6.4. Зависимость темповой напряженности деятельности от дефицита времени

Нетрудно заметить, что темповая напряженность в модели вычисляется по той же формуле, что и напряженность деятельности оператора в условиях крайней срочности в модели [3].

Введенная в модели ситуационная напряженность предполагает, что ситуации расхождения судов можно условно разбить на три группы, различающиеся реакцией оператора на эти ситуации после их обнаружения. К первой относятся ситуации, после обнаружения которых напряженность оператора возрастает, ко второй — ситуации, после обнаружения которых напряженность оператора остается неизменной, и к третьей — ситуации, после обнаружения которых напряженность оператора уменьшается.

Значение ситуационной напряженности вычисляется для каждой группы соответственно по формулам (в предположении, что зависимость напряженности от времени после обнаружения ситуации линейная):

$$s_{i2} = \operatorname{tg} \varphi_B (t - t_{ид}) + s_{2нач},$$

$$s_{i2} = s_{2нач},$$

$$s_{i2} = -\operatorname{tg} \varphi_T (t - t_{ид}) + s_{2нач},$$

где  $\varphi_B$  и  $\varphi_T$  — характеристики процессов возбуждения и торможения ЦНС оператора;

$t_{ид}$  — момент обнаружения ситуации;

$s_{2нач}$  — значение ситуационной напряженности в момент  $t$ ;  $s_{i2}$  — значение ситуационной напряженности перед выполнением оператором  $i$ -го действия.

Характеристики процессов возбуждения и торможения ЦНС оператора определяются по предельной напряженности его деятельности в ситуациях первой группы и относительной длительности этих процессов. Рассмотренные харак-

теристики подвижности ЦНС оператора задаются в модели коэффициентами  $k_B$  и  $k_T$  и вычисляются соответственно по формулам:

$$\varphi_B = \arctg \frac{(0,33 + 0,165k_B)U_n(s_{cp} - 1)}{D_{inc} - D_{nm}},$$

$$\varphi_B = \pi - \arctg((k_T + 1)\tg\varphi_B),$$

где  $U_n$  — скорость собственного суда;

$s_{cp}$  — средний порог напряженности при расхождении судов;

$D_{inc}$  — дистанция между СС и  $i$ -м ВО в момент начала слежения за ВО;

$D_{nm}$  — установленная дистанция начала маневрирования СС при расхождении с ВО.

#### *Влияние напряженности деятельности оператора на эффективность его работы*

В любой модели деятельности оператора должно учитываться влияние напряженности на время и вероятность успешного выполнения действий оператора. Предполагается, что при увеличении напряженности время выполнения действий уменьшается, а вероятность успешного их выполнения растет. В определенной точке порогового уровня напряженности оператора предъявляемые к его деятельности требования становятся предельными, и при увеличении напряженности выше этого уровня эффективность деятельности оператора начинает ухудшаться.

Зависимость, описывающая влияние напряженности деятельности оператора на эффективность его работы в виде математического описания этого влияния, апробированное на ряде моделей, представлено в [3] и может быть использовано в модели деятельности ДНЦ.

#### *Влияние функционального состояния (ФС) человека-оператора на эффективность его деятельности*

В третьей главе нами рассматривалось одно из важнейших состояний человека, влияющих на эффективность его деятельности, — психическое функциональное состояние (ПФС). Там отмечались пять периодов развития утомления в процессе работы.

Для целей имитационного моделирования, как и сделали авторы рассматриваемой модели, без особого ущерба можно ограничиться тремя периодами, отражающими три характерных процесса:

- 1) вработывание или вхождение в работу;
- 2) поддержание высокого уровня работоспособности;
- 3) утомление.

Функциональное состояние (ФС) оператора представлено в модели в виде зависимости коэффициента ФС  $K_{\text{фс}}$ , как от времени непрерывной работы оператора. Величина  $K_{\text{фс}}$  обозначает, во сколько раз меньший объем работы способен выполнить оператор, находящийся в соответствующем ФС, чем тот, который он выполняет в наилучшем для данного вида деятельности состоянии. В модели  $K_{\text{фс}}$  оператора изменяется в тех же пределах, что и напряженность его деятельности, т. е. от 1 до 5.

Как отмечалось нами выше, в ФС оператора условно можно выделить три фазы: вработываемость, его устойчивое ФС и нарастающее утомление. Первая и третья фазы представлены в модели в виде квадратических зависимостей  $K_{\text{фс}}$  от времени функционирования оператора, на фазе устойчивого ФС  $K_{\text{фс}}$  является постоянной величиной и равен единице. Значение  $K_{\text{фс}}$  оператора вычисляется на перечисленных фазах ФС по следующим формулам:

$$K_{\text{фс}} = \frac{K_{\text{фсн}} - 1}{T_{\text{вр}}} (t - T_{\text{вр}})^2 + 1, \quad K_{\text{фс}} = 1,$$

$$K_{\text{фс}} = \frac{K_{\text{фсн}} - 1}{T_{\text{пру}}^2} (t - T_{\text{вр}} - T_{\text{уфс}})^2 + 1,$$

где  $K_{\text{фсн}}$  — соответствует началу функционирования оператора;

$T_{\text{вр}}$  — интервал вработываемости оператора;

$T_{\text{пру}}$  — интервал достижения оператором предельного утомления;

$T_{\text{уфс}}$  — интервал устойчивого ФС оператора.

Величины  $K_{\text{фсн}}$ ,  $T_{\text{вр}}$ ,  $\Phi_{\text{фсп}}$ ,  $T_{\text{пру}}$  зависят в модели от опытности оператора и вычисляются перед началом моделирования.

Общий вид зависимости  $K_{\text{фс}}$  от времени работы оператора представлен на рис. 6.5.

Моделирование ФС ДНЦ очень важно для оптимальной организации труда диспетчерского состава. Как известно, длительность и периодичность регламентированных перерывов проектируются на основании кривой работоспособности. Они должны устанавливаться в моменты, предшествующие ее снижению, с тем чтобы предотвратить дальнейшее развитие утомления.

В модели учитывается влияние ФС оператора на время и вероятность успешного выполнения его действий. На фазе вработываемости  $K_{\text{фс}}$  оператора воздействует на время выполнения действий аддитивно с общей напряженностью.

Время выполнения действий на этой фазе возрастает на величину

$$t_{\text{фс}} = \frac{K_{\text{фс}} + K_{\text{фсн}} - 2}{K_{\text{фсн}}} t_{\text{ин}},$$

где  $t_{\text{ин}}$  — время выполнения  $i$ -го действия с учетом влияния напряженности.

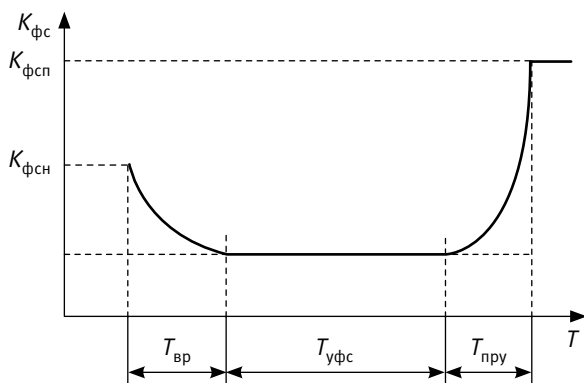


Рис. 6.5. Общий вид зависимости  $K_{\text{фс}}$  от длительности работы человека-оператора

Предполагается, что влияние ФС на временные характеристики — максимально ухудшающее. Вероятность успешного выполнения действий на фазе вработываемости не зависит от  $K_{\text{фс}}$ .

На фазе устойчивого ФС оператора его состояние близко к наилучшему для данного вида деятельности, поэтому ухудшающее влияние  $K_{\text{фс}}$  на эффективность его деятельности отсутствует.

Влияние  $K_{\text{фс}}$  оператора при нарастающем утомлении на основные переменные модели наиболее существенно. С ростом утомления уменьшается влияние напряженности оператора на временные и вероятностные характеристики его деятельности. Предполагается, что нарастающее утомление «загрубляет» реакции оператора и при предельном утомлении оператор становится нечувствительным к изменениям ситуационной обстановки. Текущее значение общей напряженности деятельности оператора на данной фазе вычисляется по формуле

$$s_{ij} = \begin{cases} s_i - K_{\text{фс}}, & \text{если } s_i - K_{\text{фс}} \geq 1, \\ 1, & \text{если } s_i - K_{\text{фс}} < 1, \end{cases}$$

где  $s_i$  — общая напряженность перед выполнением  $i$ -го действия.

Вместе с этим утомление влияет как на время, так и на вероятность успешного выполнения действий, ухудшая их до предельных значений, равных соответственно  $2t_{ин}$  и  $2p_{ин} - 1$ .

Добавка к времени выполнения  $i$ -го действия, обусловленная влиянием  $K_{фс}$  оператора на фазе нарастающего утомления, вычисляется по формуле

$$t_{ифс} = \frac{K_{фс} + K_{фсн} - 2}{K_{фсн} - 1} t_{ин}.$$

Вероятность успешного выполнения действий на этой фазе

$$p_i = \begin{cases} p_{ин} - (1 - p_{ин}) \frac{K_{фс} - 1}{K_{фсн} - 1}, & \text{если } K_{фс} \leq K_{фсн}, \\ 2p_{ин} - 1, & \text{если } K_{фс} > K_{фсн}, \end{cases}$$

где  $p_{ин}$  — вероятность успешного выполнения  $i$ -го действия с учетом влияния общей напряженности.

#### *Показатели оценки качества деятельности человека-оператора*

Интегральным показателем оценки эффективности деятельности человека-оператора, в том числе и ДНЦ, являются своевременность и вероятность безошибочного выполнения им своих функций.

Для оценки показателей в модели деятельности ДНЦ можно использовать обобщенный структурный метод [3], позволяющий определить для структуры деятельности оператора вероятность безошибочного выполнения задачи  $m(T_{вз})$  и  $\Sigma(T_{вз})$ .

В этом методе за интегральный показатель качества деятельности оператора принимается вероятность выполнения задачи

$$p_{вз} = p_{\Sigma вз} p_{свз},$$

где  $p_{\Sigma вз}$  — вероятность безошибочного выполнения оператором своих функций;

$p_{свз}$  — вероятность своевременного выполнения оператором своих функций.

При определении вероятности своевременного выполнения задачи предполагается, что затраченное на выполнение операции время может быть охарактеризовано гамма-распределением. Это позволяет вычислить вероятность своевременного выполнения задачи по первым двум моментам времени выполнения структуры деятельности. Таким образом,



$$p_{вз} = p_{6вз} \int_0^{T_{доп}} \frac{1}{\Gamma(\alpha + 1)\beta^{\alpha+1}} t^{\alpha} e^{-\frac{t}{\beta}} dt,$$

где  $\alpha = \frac{(mT_{вз})^2}{\sigma(T_{вз})}$ ;  $\beta = \frac{mT_{вз}}{\sigma(T_{вз})}$ .

### *Краткое описание структуры модели*

Предваряя этот анализ, отметим, что программу моделирования движения поездов на участке целесообразно писать на языке GPSS (General Purpose Simulating Sistem — общецелевая система моделирования), используемом для построения дискретных моделей на ЭВМ. GPSS очень удобен при программировании, поскольку интерпретатор (моделирующая часть системы) выполняет многие функции автоматически — например, без специального на то указания пользователя собирает и обобщает статистические данные, описывающие движение поездов. В язык в неявном виде включены и многие другие полезные элементы. Например, GPSS обслуживает таймер модельного времени, планирующий события, которые должны произойти в процессе моделирования, вызывает их своевременное появление и управляет очередностью поступления поездов, устанавливает приоритеты для использования их при одновременном возникновении событий.

Поэтому и программу моделирования деятельности человека-оператора целесообразно реализовывать на языке GPSS в сочетании с Фортран-программой.

Процесс моделирования представляется в такой последовательности:

1. Запускается Фортран-программа.
2. Вводится входная информация.
3. Вызывается GPSS-программа.
4. Формируются управляющие транзакты, необходимые для работы GPSS-программы.
5. Управляющий транзакт вызывает фортрановскую программу для передачи в GPSS-программу входной информации.
6. Моделируется поступление на участок грузовых и пассажирских поездов.
7. Моделируется движение поездов.
8. Запускаются алгоритмы обнаружения ситуаций.
9. Производятся: вычисление временных параметров структуры деятельности и вспомогательных характеристик оператора; вычисление показателей безошибочности и времени выполнения структуры деятельности; вычисление интегрального показателя эффективности деятельности оператора; оценки надежности человеко-машинных систем.

Представление результатов в модели организуется так, что их можно объединить в три группы: результаты по каждому прогону модели, результаты по серии прогонов, графические результаты моделирования.

Представленные в двух первых группах результаты состоят из блоков, содержащих информацию: о значениях характеристик оператора; о структуре деятельности (в исходной или развернутой форме) с модифицированными в ходе моделирования характеристиками; о временных оценках структуры деятельности; об оценках по количеству действий структуры; об оценках ФС оператора; об оценках показателей качества деятельности оператора и надежности системы.

В графической форме в модели представляются: связи между зависимыми и независимыми переменными; напряженность оператора при выполнении им действий структуры. Графическое представление связей между переменными модели организовано так, что одной точкой графика является оценка среднего зависимой переменной, полученная в результате серии прогонов.

К зависимым относятся три группы переменных, по каждому элементу которых может быть построен график: оценки структуры деятельности оператора; оценки эффективности деятельности оператора; оценки надежности системы. Независимыми переменными модели являются характеристики оператора и варианты его деятельности.

Рассмотренная здесь модель, ориентированная на психофизиологическое описание деятельности оператора, содержит ряд отличий от модели такого же типа, представленных в [3]. Прежде всего, учет влияния ФС оператора на временные и вероятностные характеристики деятельности позволяет моделировать работу оператора не только в устойчивом ФС, но и в период вработываемости и нарастания его усталости.

Введение в модель понятия ситуации расхождения и реализации алгоритмов вероятностного обнаружения ситуаций дают возможность моделировать процесс принятия оператором решений, т. е. осуществлять то, что присуще когнитивным моделям.

Выделение трех групп ситуаций по их важности и влиянию на уровень напряженности оператора позволяет построить линейную модель ситуационной напряженности оператора. В модели рассмотрены дополнительные характеристики оператора, задающие уровень его опытности в данном виде деятельности и тип ЦНС оператора. Введение этих характеристик делает модель более точной и чувствительной к варьированию входных данных.

Предварительная оценка степени адекватности модели может быть выполнена на основе аналогичных оценок моделей Зигеля–Вольфа. По многочис-

ленным приложениям, описанным в [3], степень расхождения между внешними оценочными данными и результатами моделирования составляет примерно 9%.

6.8. Теория обнаружения сигналов  
и моделирование деятельности

Классическая психофизика не могла дать ответ на вопрос, почему обнаружение слабого сигнала дает такие нестабильные результаты (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Матрица исходов «стимул-реакция» для наблюдателя, отвечающего «Да» или «Нет» в каждой при проведении эксперимента на обнаружение

		Альтернативные ответы испытуемого	
		«Да, сигнал есть»	«Нет, сигнал отсутствует»
Стимульные альтернативы	Сигнал + шум	ПРАВИЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ	ПРОПУСК
		Положительный ответ при наличии сигнала	Отрицательный ответ при наличии сигнала
	Шум	ЛОЖНАЯ ТРЕВОГА	ПРВИЛЬНОЕ ОТРИЦАНИЕ
		Положительный ответ при наличии сигнала	Отрицательный ответ при наличии сигнала

Теория обнаружения сигналов (ТОС) предлагает некоторый логический аппарат для описания рассмотренных выше явлений. Эта теория произошла от радиотехники и статистической теории принятия решений. Во время Второй мировой войны инженеры разработали ТОС, которая применялась для обнаружения самолетов радиолокационными станциями. Впоследствии Светс и Таннер (1966) перенесли многие положения ТОС в психологию. Поскольку эти явления очень важны и часто встречаются на практике, стоит более подробно познакомиться с этой теорией.

Согласно ТОС, все перцептивные оценки совершаются в условиях неопределенности, обусловленной наличием в перцептивной системе «шума». Под шумом в данном случае понимается любое событие, не связанное причинно-след-

ственными связями с тем сигналом, который пытается обнаружить наблюдатель. В зрительных задачах, например, шум может быть связан с ослеплением наблюдателя, а в слуховых задачах — с влиянием гудения на частоте 50 Гц (частота переменного тока в блоке питания прибора). При вождении локомотива в качестве «шума» выступают блики от деревьев, мелькания шпал и т. д. Следовательно, в данном контексте слово *шум* никоим образом не связано со слухом.

Можно также предположить, что в системе обработки сенсорной информации, поступающей от рецепторов, происходит и оценка степени правдоподобия связи возникших ощущений с реальным входным сигналом. Даже при отсутствии реального сигнала на входе, уровень возбуждения меняется, что обусловлено как случайными флуктуациями во внешней среде, так и флуктуациями в самой нервной системе, т. е. нейронным шумом. Помимо спонтанной сенсорно-нейронной активности нейронный шум может также включать непредсказуемые, случайные последствия усталости и влияние таких несенсорных причин искажений ответа, как уровень колебания внимания наблюдателя или его мотивации выполнения задания, связанного с обнаружением сигнала.

Распределение этого возбуждения представлено на рис. 6.6.

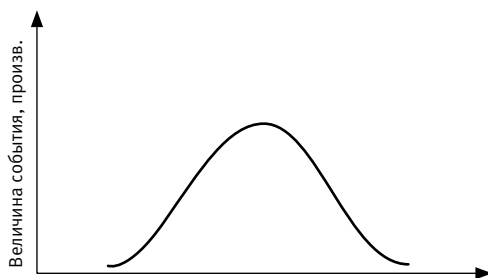


Рис. 6.6. Распределение вероятностей событий, наблюдаемых в отсутствие входного сигнала

Знакомая колоколообразная кривая нормального распределения показывает, что уровень сенсорной активности, являющейся результатом одного только шума в сенсорной системе, изменяется весьма существенно. На абсциссе представлен уровень сенсорной активности (от низкой до высокой), на ординате — частота возникновения разных уровней сенсорной активности (от «редко» до «часто»).

Предположим теперь, что, когда поступает реальный сигнал, вызванное им возбуждение складывается с возбуждением, связанным с внутренним шумом нервной системы, в результате чего показанное на рис. 6.6 распределение в среднем сдвигается вдоль абсциссы (рис. 6.7).

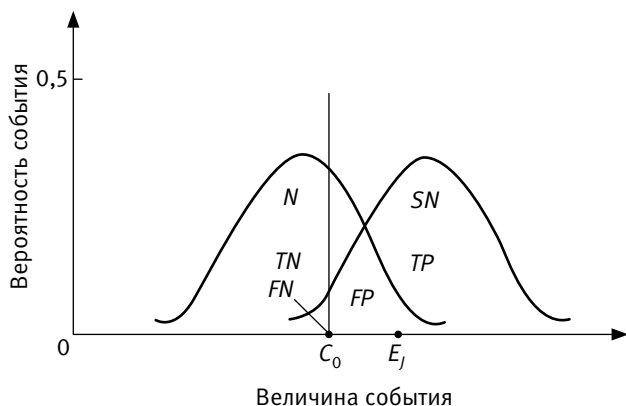


Рис. 6.7. Иллюстрация к теории обнаружения сигналов:

$N$  — распределение вероятностей без входных сигналов;  $SN$  — распределение при заданном реальном входе. Область  $TP$  соответствует вероятности правильного «обнаружения»;  $FP$  — вероятности ложной положительной оценки (ложная тревога);  $TN$  — вероятности правильной оценки отсутствия сигнала;  $FN$  — вероятности ложной отрицательной оценки (пропуск);  $C$  — граничная точка критерия наблюдателя;  $E$  — величина неоднозначного стимула

Из рисунка 6.7 видно, что сенсорные эффекты, полученные от воздействия одного шума и совместного воздействия сигнала и шума перекрываются. Иными словами, они вместе влияют на сенсорную систему таким образом, что при попытке определить, присутствует ли слабый сигнал, наблюдатель должен решить, является ли данный конкретный уровень активности его сенсорной системы реакцией только на шум или же на сигнал плюс шум.

Очевидно, что когда уровень входного сигнала достаточно высок или уровень шума достаточно низок, то принятие правильного решения не вызывает затруднений. Но в условиях, когда сигнал слаб или уровень шума высок (сравним с уровнем сигнала), дело обстоит далеко не так однозначно. Согласно теории обнаружения стимула (ТОС), наблюдатели, решая вопрос о том, присутствует сигнал или нет, вырабатывают для себя некий внутренний критерий (обычно обозначаемый греческой буквой  $\delta$ ) результирующей сенсорной активности. Один такой критериальный уровень  $C$  представлен на абсциссе рис. 6.7.

В соответствии с выбранным критерием наблюдатель ответит «да» (подтверждая присутствие сигнала), если уровень сенсорной активности, представленной на абсциссе, находится правее этой точки, и «нет» (отрицая присутствие сигнала), если сенсорный эффект ниже ее. В обоих случаях наблюдатель может ошибиться. Он может ответить утвердительно, когда на самом деле сенсорный эффект является лишь результатом воздействия одного только

шума (на рисунке это область *FP* соответствует неправильному положительно-му ответу). Аналогичным образом наблюдатель может ответить, что сигнала нет, хотя на самом деле он присутствует (на рисунке область *FN* соответствует неправильному отрицательному ответу). Это происходит потому, что, как следует из рисунка, сенсорные эффекты перекрываются. Отсюда наблюдатель не имеет возможности выбрать сенсорный критерий, позволяющий правильно реагировать на *каждое* предъявление сигнала. Другими словами, мы видим, что в некоторых экспериментах, когда сигнал действительно присутствует, его сенсорное влияние на наблюдателя может быть меньше, чем сенсорное влияние одного только шума.

В результате после выбора критерия можно выделить четыре области, помеченные на рис. 6.7 как *TP*, *FP*, *TN* и *FN*. (Часто эти зоны называют соответственно «правильное обнаружение», «ложная тревога», «правильное отрицание» и «пропуск».) Удобно также изображать эти зоны в виде матрицы (см. табл. 6.1 на с. 179).

Теперь можно сделать одно интуитивно ясное дополнение, которое подчеркивает важность сформулированной выше концепции обнаружения сигнала наблюдателем. Речь идет о возможности рационального выбора критерия *C*. Если сигнал предъявляется практически на всех этапах эксперимента, т. е. априорная вероятность его появления близка к единице, наблюдатель может почти всегда ждать его появления. В результате он выберет относительно необременительный для себя критерий (на рис. 6.7 это сдвиг критерия влево). Следствием этого становится тенденция давать положительный ответ даже при отсутствии сигнала. В этом случае вероятность попаданий весьма велика, но благодаря ожиданиям наблюдателя и вероятность ложных тревог будет выше, чем она была бы, не имей наблюдатель подобных ожиданий. Так же сдвиг критерия влево произойдет, если «штраф» за ложные тревоги (за ошибки типа *FP*) не очень существенен, а награда за попадание (правильный ответ *TP*) впечатляет наблюдателя. Наоборот, если априорная вероятность появления сигнала низкая, а «штрафы» за пропуск (ошибки типа *FN*) значительны или выполняется ситуация *TN*, то *C* нужно сместить вправо. Если точно известны вероятности появления сигнала и «штраф», соответствующий каждой ситуации, указанной в клетках приведенной выше матрицы решений, то можно точно определить, где именно нужно расположить *C*.

Вследствие смещения *C* доля случаев, описываемых ситуацией *TF*, может сдвинуться от нуля к единице независимо от изменения интенсивности сигнала. Другими словами, в зависимости от ожиданий оператора и воспринимаемых значений *TP*, *FP*, *TN* и *FN*, при обнаружении будут наблюдаться ошибки

с заданной вероятностью: с нулевой, с единичной или некоторой промежуточной. Это объясняется влиянием некоторых субъективных факторов, связанных влиянием верхних уровней при восприятии на нижние уровни.

Теперь рассмотрим, что произойдет при увеличении интенсивности сигнала без изменения критерия принятия решения. В этом случае, поскольку интенсивность сигнала возрастает, среднее значение кривой распределения сигнал плюс шум сдвигается вправо. Соответственно возрастет расстояние между средними значениями распределений шума и сигнал плюс шум (в литературе для этого используют обозначение  $d'$ ), а это в свою очередь приведет к увеличению вероятности правильно обнаруживаемых сигналов (вероятность  $TP$ ). Таким оказывается вклад в вероятность обнаружения сигналов физической стороны решаемой задачи и перцептивных процессов в направлении «снизу-вверх».

Подводя итог сказанному, отметим два важных момента, связанных с применением ТОС в эргономике. Во-первых, ТОС обращает основное внимание на то, что, когда наблюдатель оказывается перед необходимостью обнаружить пограничный или очень слабый сигнал, на его решение о присутствии сигнала влияет ряд таких несенсорных факторов, как внимание, ожидание и мотивация, и они способны исказить его ответ. Во-вторых, ТОС позволяет выделить и оценить влияние на поведение наблюдателя двух факторов — сенсорной способности и психологических параметров несенсорного характера.

В данной главе мы не будем давать более подробный анализ ТОС в связи с задачами наблюдателя и контроля. Также не приводим данные, показывающие, что, когда ТОС используется в качестве нормативной модели, рабочие характеристики человека-оператора очень близки к оптимальным. Здесь же достаточно сделать следующее качественное наблюдение: если перцептивные реакции наблюдателя становятся неадекватными, то причин может быть две. Если удастся показать, что замеченная неэффективность работы оператора связана со свойствами «сигналов», то прежде всего стоит обратить внимание на особенности рабочего места, аппаратуры, световых табло и т. д. Однако если замеченная неэффективность объясняется субъективными факторами, то наилучшим способом повысить перцептивные оценки будет тренировка оператора или изменение его мотивации. В этом случае следует изменить установку наблюдателя в отношении вероятности предъявления «сигналов», а также его представление о штрафной матрице, связанной с разными оценками. Только после того как оптимизирован последний из перечисленных выше факторов, следует обращать внимание на реконструкцию самого оборудования. Ряд допущений, принятых в ТОС, часто не выполняется на практике. Однако общая

концепция ТОС более важна, чем второстепенные детали, от которых зависит возможность или невозможность количественного применения ТОС при решении конкретной задачи. Эта общая концепция выражается в виде следующего принципа. *Восприятие определяется взаимодействием физических параметров стимула и субъективных факторов, связанных с механизмами перцептивного управления у наблюдателя.*

## 6.9. Языки имитационного моделирования

Широкое распространение имитационного моделирования как средства анализа повлекло за собой появление ряда языков программирования, специально предназначенных для построения имитационных моделей. Р. Шеннон отметил следующие преимущества использования специализированных языков имитационного моделирования.

1. Снижение трудоемкости программирования.
2. Возможность четкого выражения понятий и формулирования модели.
3. Облегчение документирования и представления результатов исследований.
4. Обеспечение гибких возможностей расширения и пересмотра модели.
5. Наличие вспомогательных функций общего назначения, необходимых при любых видах моделирования.

Можно назвать следующие служебные функции, которые должны обязательно присутствовать в любом языке имитационного моделирования.

1. Генерация случайных чисел.
2. Управление модельным временем.
3. Накопление и хранение выходных данных.
4. Обобщение и статистический анализ выходных данных.
5. Обнаружение ошибок и выдача сообщений об условиях появления ошибки.
6. Формирование стандартных выходных документов.

В данном разделе проводится сравнение основных характеристик большинства наиболее распространенных языков имитационного моделирования, основанных на всех рассмотренных выше принципах моделирования. При этом, однако, рассматриваются лишь сходства и различия между языками без подробного их описания.

Иногда одна и та же модель может быть реализована с использованием различных языков. Например, часто обсуждаемая нами модель взаимодействия двух человек, первоначально реализованная Зигелем и Вольфом на языке Фортран, была впоследствии воспроизведена с помощью языков GPSS и SAINT.



### 6.9.1. Языки дискретного моделирования

Основные процессно-ориентированные языки, которые будут рассмотрены ниже, — это GPSS и Q-GERT, а ГАСП IV и СЛАМ — обсуждаются как языки смешанного дискретно-непрерывного моделирования.

GPSS (General Purpose Simulation System) — это процессно-ориентированный язык имитационного моделирования систем, представляемых дискретными переменными. Существует несколько диалектов языка, среди которых самыми распространенными являются версии GPSS/360 и GPSS/H. Поскольку GPSS/360 есть подмножество GPSS V, программы, написанные на GPSS/360, совместимы с GPSS V.

Главным достоинством языка GPSS считается простота моделирования. Реализация модели на этом языке сводится к построению из набора стандартных блоков блок-схемы, определяющей логическую структуру модели. Элементы системы представляются в виде транзакций, которые в ходе имитации продвигаются последовательно от блока к блоку. Обучение программированию на языке GPSS заключается в изучении функций блоков и способов логического сочетания блоков для представления конкретных систем.

Процессор языка GPSS интерпретирует и исполняет блок-схемное описание системы. К недостаткам этого языка следует отнести ограниченное быстродействие и отсутствие арифметики с плавающей точкой.

В языке GPSS содержатся почти все перечисленные в начале этого раздела функциональные возможности моделирования, включая широкий набор процедур сбора и обобщения данных. В то же время программные реализации моделей, написанных на языке GPSS, обычно характеризуются относительно невысоким быстродействием, следовательно, требуют больших затрат машинного времени; кроме того, язык обладает ограниченными возможностями генерации случайных чисел. Однако в версии GPSS/H быстродействие значительно повышено, а набор генераторов случайных чисел расширен.

#### Q-GERT

Разработанный Прицкером язык Q-GERT предназначен для реализации сетевых имитационных моделей. В аббревиатуре Q-GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) буква Q означает возможность моделирования в графической форме систем с очередями.

В основу языка положен принцип «ветвления по действию», в котором ветви отображают действия, моделирующие время обработки или задержки. Узлы сети служат для разветвления ветвей, моделирования контрольных точек, точек

принятия решений и очередей. Сеть в языке Q-GERT состоит из узлов и ветвей. Через сеть проходит поток элементов, называемых транзакциями. Чтобы обеспечить возможность моделирования сложных дисциплин обслуживания очередей и сложных управляющих структур, в язык включены различные типы узлов. Для различения транзакций, проходящих через модель, используются атрибуты. Конкретные значения атрибутов могут быть определены в любом узле. Продолжительность действий задается типом распределения и номером набора параметров.

Процедуры построения модели в языке Q-GERT близки к процедурам, применяющимся в языке GPSS. Разработчик модели комбинирует сетевые элементы языка в сетевую модель, которая графически отображает интересующую его систему. Построенная сетевая модель затем преобразуется в набор входных записей для последующей интерпретации и обработки анализирующей программой языка Q-GERT.

Хотя языки Q-GERT и GPSS в некоторых отношениях похожи, следует упомянуть о различиях между ними. Оба языка обеспечивают автоматическое накопление статистических характеристик многих стандартных элементов систем, рассчитанных за время одного цикла имитационного моделирования. Однако в языке Q-GERT имеется возможность накопления статистических характеристик и по нескольким независимым циклам. Подобная возможность облегчает анализ выходных данных модели. Благодаря малому количеству типов используемых узлов язык Q-GERT также более прост в освоении. В отличие от языка GPSS генератор модельного времени в языке Q-GERT работает в формате действительных чисел. Кроме того, имеется набор функций для генерации всех широко распространенных распределений случайных величин.

Язык SLAM II объединяет в себе как процессно-ориентированные черты языка Q-GERT, так и возможности дискретно-непрерывного моделирования языка GASP IV. Единая основа моделирования образуется в этом языке за счет комбинации различных подходов. Системы с дискретными изменениями состояний можно моделировать либо с помощью описания событий, либо с помощью описания процессов, либо совместно тем и другим способом. Системы с непрерывными изменениями состояний можно моделировать на основе либо дифференциальных, либо разностных уравнений. Системы с дискретно-непрерывными изменениями состояний можно моделировать путем сочетания перечисленных подходов. Кроме того, ряд возможностей языка SLAM соответствует режиму просмотра действий.

Для описания процессов в языке SLAM используется сетевая структура, состоящая из узлов и ветвей. Эти символы моделируют элементы системы, на-

ходящиеся в таких процессах, как очереди, обслуживающие устройства и точки принятия решений. Задача построения модели заключается в составлении из этих символов сетевой структуры, которая графически представляет интересующую систему. В процессе моделирования элементы системы проходят через построенную сетевую модель. Графическое представление системы преобразуется разработчиком в эквивалентные операторы, которые затем обрабатываются процессором языка SLAM.

При построении имитационной модели на основе дискретных событий пользователю будет необходимо лишь закодировать логику обработки каждого типа события в виде отдельных вспомогательных подпрограмм. В этом случае для перевода системы в новое состояние управляющая программа языка SLAM всегда продвигает модельное время к моменту наступления следующего события. Чтобы обеспечить такие переходы, в модель включается файл или календарь событий, а обработка следующего события начинается сразу же по завершении обработки текущего события.

Важным свойством языка SLAM является возможность сочетания различных подходов в рамках одной имитационной модели. При этом компоненты различных образов мира могут взаимодействовать следующими шестью способами.

1. Элементы сетевой модели могут вызывать наступление дискретных событий.
2. События могут воздействовать на поток элементов в сетевой модели.
3. Элементы сетевой модели могут вызывать мгновенные изменения величин переменных состояния.
4. Переменные состояния, достигающие заданных пороговых значений, могут инициировать элементы сетевой модели.
5. События могут вызывать мгновенные изменения величин переменных состояния.
6. Переменные состояния, достигающие заданных пороговых значений, могут вызывать наступление событий.

### *6.9.2. Специальные средства имитационного моделирования*

До сих пор мы рассматривали только языки моделирования общего назначения, не предназначенные специально для имитации систем человек-машина. Поскольку средства моделирования деятельности операторов в системах встречаются сравнительно редко, упомянутые языки с той или иной степенью успеха использовались для моделирования рассматриваемых систем.

Большинство этих моделей отражает лишь специфический круг обязанностей операторов, например слежение, считывание показаний приборов или управление, вследствие чего они не являются языками моделирования как таковыми. В действительности пока еще мало языков моделирования, которые включают в себя элементы умственной деятельности оператора или деятельности, связанной с принятием решений, или в которых оценивается эффективность функционирования оператора в полной системе. Имеющиеся методы оценивания эффективности операторов систем, например TLA (Timeline Analysis Programm), WAM (Workload Assessment Model) и др., позволяют пользователю оценить время выполнения всех задач оператора, но ни один из них не позволяет получить полного описания поведения оператора как части системы.

Представленные выше подходы в основном сосредоточены на анализе микродействий операторов и не охватывают обычно вопросов принятия стратегических и тактических решений, требуемых для выполнения оператором своих функций. Таким образом, при высокой степени детализации этим подходам недостает ориентации на глобальные аспекты деятельности операторов. Те же модели, в которых главное внимание уделялось оцениванию эффективности систем, были обычно основаны на теории оптимального управления и упрощали деятельность операторов до такой степени, которая исключала всякую возможность анализа многих аспектов эффективности их функционирования.

### *6.9.3. Языки смешанного дискретно-непрерывного моделирования*

Хотя на разработку языков смешанного дискретно-непрерывного имитационного моделирования было затрачено немало усилий, единственным таким языком, получившим широкое распространение, стал язык GASP IV (General Activity Simulation Program). Разработанный позднее язык SLAM (Simulation Language for Alternative Modelling) основан на конструкциях языка GASP IV и имеет дополнительные возможности для работы с процессами. Он позволяет создавать сетевые структуры, а также дополнен новыми интерфейсными модулями.

#### **GASP IV**

Организационная структура этого языка позволяет описывать системы в виде дискретных моделей, непрерывных моделей либо в виде комбинации этих двух типов моделей. В языке имеются процедуры для записи дифференциальных и разностных уравнений, а также методы определения логических условий, воздействующих на переменные состояния систем. Управляющая про-

грамма языка GASP IV может активизировать функции продвижения времени, требуемые для имитационного моделирования, а также вызывать специальные подпрограммы пользователя для изменения состояний системы.

В версии языка GASP V возможности непрерывного моделирования расширены. Новыми чертами языка GASP V являются: различные алгоритмы интегрирования, которые могут быть выбраны пользователем; процедуры для манипулирования с дифференциальными уравнениями в частных производных, а также логические действия операции запоминания и генераторы специальных функций. В качестве примеров логических действий можно назвать работу с входными переключателями, триггерами и вентилями.

Языки моделирования систем человек-машина HOS, SAINT и Micro SAINT позволяют закрыть брешь между ориентациями на анализ задач и на оптимальное управление. Каждый из языков позволяет имитировать полный сценарий функционирования оператора с сохранением подробного описания каждого действия, и, что особенно ценно, языки HOS и SAINT дают возможность моделировать когнитивное поведение операторов.

### **Имитатор человека-оператора (HOS)**

Язык HOS основан на следующих четырех предположениях, основанных на фактах, полученных в когнитивной и экспериментальной психологии:

1. Поведение человека предсказуемо и целенаправленно, особенно у опытных операторов.
2. Поведение человека можно описать как последовательность микрособытий, совокупность которых отражает специфику задачи.
3. Человек рассматривается как одноканальное устройство обработки информации, способное, однако, выполнять параллельно более чем одну операцию.
4. Тренированные операторы редко забывают свои обязанности или совершают процедурные ошибки.

Первое предположение создает основу для моделирования когнитивного поведения операторов; второе предположение позволяет встраивать в язык микромоделей поведения; третье предположение устанавливает внутреннюю методологию имитационного моделирования; четвертое предположение позволяет изучать влияние конфигурации системы на «среднего» оператора. Последнее предположение позволяет также устранить от обработки сложных и плохо изученных ошибок, которые не зависят от системы и свойственны только операторам.

В отличие от большинства других моделей оператора, в языке HOS разработчику модели не нужно указывать время выполнения оператором действий.

Эти характеристики рассчитываются внутренними процедурами языка на основании микромоделей поведения. В язык включены следующие типы микромоделей.

1. Сбор информации.
2. Извлечение хранимой информации.
3. Мысленные вычисления.
4. Принятие решений.
5. Перемещение оператора.
6. Манипулирование органами управления.
7. Релаксация.

Каждое действие оператора представляет собой некоторую комбинацию из перечисленных видов деятельности. В языке HOS производится внутренний набор сочетания функций для любого действия, последовательности функций и полного времени, необходимого для осуществления всех функций. Микромоделей основаны на литературных данных по инженерной психологии, эмпирических фактах и суждениях. Микромоделей можно легко перепрограммировать.

В языке HOS имеется входной процессор, который считывает и интерпретирует операторы, описывающие общую цель, конкретные процедуры, функционирование аппаратных средств и т. п. Эти операторы преобразуются в табличные значения, поступающие на вход второй программы, которая проводит имитационное моделирование и накапливает результаты в выходных файлах. Третья программа обследует выходные данные и генерирует отчеты в соответствии со спецификациями пользователя. В процессе моделирования все длительности выполнения действий не меняются. Случайные компоненты включаются в микромоделей главным образом для определения пороговых величин. Например, вероятность удовлетворения запроса информации определяется случайной выборкой из вычисленных вероятностей запроса.

В языке HOS организована регистрация состояния органов управления и положения различных частей тела оператора (глаз, левая рука, правая нога и т. п.). Данные о положениях различных частей человеческого тела используются в микромоделей для расчета длительности выполняемых операций. Можно также получить в распечатанном виде детальную информацию о всех таких операциях в привязке к определенной части тела.

Организация упорядочивания задач и процедур принятия решений осуществляется в языке HOS на основе расчета «критичности» или приоритета каждой задачи. При этом выбирается задача с наивысшим на текущем этапе приоритетом. Процедура выбора является внутренней, и все расчеты проводятся с расчетом параметров и ограничений, заданных в исходных операторах.

Язык HOS предоставляет пользователю широкий набор встроенных функций и позволяет определять процедуры и переменные в соответствии со спецификой исследуемой системы. Этому языку свойственны следующие ограничения.

1. Стационарность модели оператора.
2. Возможность детального моделирования поведения только одного оператора.
3. Отсутствие явной модели коммуникаций.
4. Пользователю не просто контролировать степень детализации, так как для внутренних вычислений длительностей операций требуется спецификация действия оператора на относительно низком уровне.

В концептуальном плане язык HOS моделирует оператора как вычислительную машину реального времени, управляемую событиями. Разработчики этого языка, хотя и не преднамеренно, заложили в него подражание операционным системам, под управлением которых функционируют подобные машины. Язык HOS особенно хорошо подходит для анализа таких систем, в которых основной проблемой является организация рабочего места оператора, а сбои в работе возникают главным образом из-за перегруженности оператора при считывании показаний приборов и манипулировании органами управления. К сожалению, требуемый в языке HOS уровень детализации, а также ограничения, касающиеся допустимого числа операторов системы и отсутствие модели коммуникаций, могут воспрепятствовать моделированию больших систем, в которых присутствуют сразу несколько операторов при сложном характере взаимодействия между ними.

### **Системный анализ интегрированных сетей задач (SAINT)**

SAINT (System Analysis of Integrated Networks of Tasks) — это методология имитационного моделирования, разработанная специально для сетей задач. В системе SAINT задачи оператора или действия, основанные на правилах, моделируются в виде сети из узлов и сетей. Узлы представляют элементы задачи, в которых могут происходить временные задержки. Ветви устанавливают отношения порядка между элементами задач. Когда из узла выходят несколько ветвей, это обычно указывает на необходимость принятия решения оператором. Действия оператора можно визуализировать с помощью трассировки графа сети, выдерживая при этом соответствующие паузы по достижении узла и переходя затем на предписанную исходную ветвь.

Задачи операторов, связанные с принятием решений, можно подсоединить к подмоделям принятия решений, которые упорядочивают задачи таким образом, чтобы требуемые функция оператора были выполнены. Перед

проведением имитационного моделирования для каждого узла и каждой ветви сети готовится описание данных. Кроме того, для реализации специальных свойств системы пользователь может подготовить программы обработки узлов на языке Фортран. Программы пользователей могут применяться для установки начальных значений выбранных атрибутов или для модификации длительностей конкретных действий. Поскольку выбор выходящей из узла ветви может определяться значениями атрибутов, это свойство позволяет описывать очень сложные динамические ситуации. Описания данных считываются программными средствами имитационного моделирования языка SAINT (связанным с пользовательскими программами на Фортране). В результате считывания формируется внутреннее представление сети, которое позволит выполнить имитационное моделирование.

Язык SAINT предназначен для смешанного дискретно-непрерывного моделирования, вследствие чего в нем имеются средства представления динамики поведения систем и средства непрерывного управления. Средства языка SAINT позволяют также решать дифференциальные, разностные алгебраические уравнения, описывающие параметры или поведение системы либо как часть имитационной модели оператора, либо параллельно с ней. Более того, модель оператора и непрерывные модели могут взаимодействовать между собой с помощью таких событий времени и состояния, которые воздействуют на параметры моделей обоих типов. Подобное взаимодействие позволяет, например, описывать динамические изменения в положении, скорости и курсе самолета, а также в показаниях альтиметра, которые могут отставать от фактических значений высоты при резких маневрах.

Фундаментальным отличием языка SAINT от языка HOS является то, что в первом языке сравнительно мало встроенных средств, диктующих выбор принципа моделирования или требующих конкретного уровня детализации. При этом большая часть работы остается на долю разработчика модели, но это дает ему и большую свободу для объединения или декомпозиции разнообразных аспектов модели системы в соответствии с требованиями поставленной задачи. Таким образом, появляется возможность сконцентрировать усилия на важных аспектах проекта. Кроме того, снимаются ограничения по таким пунктам, как число операторов в системе, возможность взаимодействий между ними и возможность их передвижения. Например, один из операторов системы может быть представлен с большей степенью детализации, чем другие операторы, выполняющие менее важные функции. Более того, в языке SAINT возможно использование внешних модулей, эмулирующих встроенные механизмы моделей поведения.



Нам представляется, что возможности языка SAINT могут быть использованы в системах моделирования групповой деятельности операторов, например диспетчерской группы управления перевозками.

### **Micro SAINT**

Язык Micro SAINT по сути дела представляет собой версию языка SAINT, ориентированную на использование в персональных ЭВМ. С некоторыми отличиями он сохранил в себе многие свойства полного варианта языка SAINT, обсуждавшегося в предыдущем разделе. Micro SAINT предназначен прежде всего для прямого воспроизведения сетей задач оператора. Кроме того, в языке имеются возможности непрерывного моделирования, но отсутствуют средства для решения дифференциальных уравнений.

Причиной разработки Micro SAINT послужило то обстоятельство, что при всей мощи языка SAINT в задачах имитационного моделирования систем человек-машина в нем отсутствуют инструментальные средства построения моделей. Иными словами, начальный этап построения сетевой модели в системе SAINT сводится к изучению сравнительно сложного и часто громоздкого языка описания моделей. Напротив, в языке Micro SAINT все аспекты модели отрабатываются в интерактивном режиме. В ходе разработки модели пользователь сначала указывает, с какими объектами он будет иметь дело (например, сеть задач, непрерывные переменные, сценарий моделирования). Затем пользователю предъявляется ряд меню и вопросов, облегчающих построение модели. Благодаря применению грамматического анализатора устраняется необходимость в генерации команд на машинном языке. Программные средства построения моделей, предусмотренные в языке Micro SAINT, освобождают пользователя также и от формирования «входных описаний», характеризующих другие аспекты моделей. Основным достоинством языка Micro SAINT является простота его использования. Каждый, кто способен нарисовать сеть задач (т. е. выполнить анализ задач) и описать другие аспекты моделируемой системы (например, изменения переменных в зависимости от состояния выполнения задач), сможет легко построить имитационную модель с помощью этого языка.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается проблема моделирования деятельности по решению оперативных задач на транспорте?
2. В чем заключаются достоинства и недостатки теоретико-информационного подхода к моделированию деятельности?
3. Приведите пример применения моделирования на основе теории массового обслуживания.
4. Объясните классификацию имитационных моделей СЧМ.
5. В чем заключается имитационное моделирование транспортных человеко-машинных систем?
6. Приведите пример имитационного моделирования деятельности.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Вавилов В. А. Анализ методологических аспектов проблемы моделирования деятельности по решению оперативных задач / В. А. Вавилов // Психологические факторы операторской деятельности. — М. : Наука, 1988. — С. 9–24.
2. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
3. Зигель А. Модели группового поведения в системе «человек-машина» / А. Зигель, Дж. Вольф ; пер. с англ. — М., 1973. — С. 261.
4. Нерсисян Л. С. Инженерная психология и проблема надежности машиниста / Л. С. Нерсисян, О. А. Конопкин. — М., 1978. — С. 239.
5. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
6. Просвилов Ю. Е. Оперативный контроль деятельности машиниста / Ю. Е. Просвилов, А. М. Добронос, В. В. Асабин // Вестник РГУПС. — 2008. — № 4. — С. 47–51.
7. Пушкин В. Н. Оперативное мышление в больших системах / В. Н. Пушкин. — М. ; Л. : Энергия, 1965. — С. 376.
8. Пушкин В. Н. Железнодорожная психология / В. Н. Пушкин, Л. С. Нерсисян. — М., 1973.
9. Себряков Г. Г. Моделирование деятельности человека-оператора в полуавтоматических системах управления динамическими объектами / Г. Г. Себряков // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2010. — № 4. — С. 17–29.
10. Broadbent D. E. In defense of empirical psychology / D. E. Broadbent. L. ; N.Y. : Methuen, 1973. — 320 p.
11. Luczak H. The use of simulators for testing individual mental working capacity / H. Luczak // Ergonomics. — 1971. — Vol. 14, N. 5. — P. 650–671.
12. Rouse W. Systems engineering models of human-machine interaction, North Holland / Rouse W. — New York, 1980.
13. Левин Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом / Д. Ю. Левин. — М., Маршрут, 2005. — С. 760.

# Надежность оператора и системы\*

## 7.1. Надежность работы техники и оператора

Проблема надежности человека развилась как самостоятельная область исследований в связи с развитием техники, систем автоматизированного управления транспортом и производством, а следовательно, появлением операторского вида трудовой деятельности. В целом деятельность оператора определяется степенью стабильности, с которой выдерживаются показатели в различных видах и условиях деятельности, — характеристикой, которую принято называть надежностью работы оператора.

Как известно, понятие надежность было перенесено в инженерную психологию из техники, где оно используется для определения *способности устройства сохранять требуемое качество в установленных условиях работы*. Такое определение по своему содержанию и форме оказалось вполне применимым и для оценки деятельности оператора. Это обстоятельство послужило поводом для использования в инженерной психологии как этого понятия, так и многих других положений теории технической надежности для анализа и оценки деятельности оператора и работы системы «человек-машина».

От надежности работы техники, выступающей в этой системе как орудие труда человека, в значительной мере зависят результаты его труда. неполадки и отказы в работе технических звеньев системы не только непосредственно нарушают это взаимодействие, но, создавая дополнительные трудности в целенаправленной деятельности оператора, влияют на него также психологически, ухудшая тем самым и показатели работы человеческого компонента системы.

Поэтому вопросы технической надежности, независимо от применимости этой теории к человеку, уже сами по себе представляют интерес для инженерной психологии. Возможности же использования данной теории для определения надежности работы оператора и выражения этой характеристики в тех же

---

\*Данная глава написана совместно с канд. техн. наук. З. А. Наседкиной.

показателях, которые применяются для оценки машины, делают указанную теорию еще более привлекательной для инженерной психологии.

Проблема надежности человека может быть не совсем в том виде, в каком она рассматривается сейчас, давно изучается в экспериментальной психологии. В классических опытах по исследованию показателей времени реагирования, измерению объема памяти, работоспособности человека и пр., наряду с другими показателями оценивались и характеристики стабильности получаемых результатов во времени, т. е. фактически надежность выполнения испытуемыми заданных функций. С началом развития инженерной психологии в эту область были перенесены многие методы и средства экспериментальной психологии, в том числе и методы определения надежности выполнения оператором отдельных действий (считывания показаний приборов, сенсомоторных, двигательных актов и пр.). В главе 6 мы говорили о привлечении методов современной психофизики, основанных на теории обнаружения сигналов, к исследованию профессиональной деятельности машинистов.

О целесообразности создания некоторой обобщенной характеристики надежности работы человека-оператора, которая распространялась бы на всю его деятельность, заговорили только в 1960-х годах. Одним из первых на эту проблему указал В. Д. Небылицын, который предложил оценивать надежность оператора по комплексу его внутренних свойств, обуславливающих *способность оператора сохранять на заданном уровне показатели труда и поддерживать требуемые рабочие качества в условиях существенного усложнения деятельности*. Подобный комплекс внутренних свойств, создающих потенциальную способность организма к надежной работе, впоследствии стали называть базовой надежностью человека, в отличие от прагматической надежности, проявляющейся в реальных условиях деятельности.

Аналогичной точки зрения на надежность работы человека-оператора придерживался и Е. А. Милеран, который определял надежность как «способность человека к сохранению оптимальных рабочих параметров в экстремальных условиях работы». Н. Д. Завалова и В. А. Пономаренко также считают, что «надежность человека единственно правильно определить как способность к сохранению требуемых качеств в условиях возможного усложнения обстановки». О. А. Конопкин и Л. Е. Нерсисян также считают такой подход к определению надежности правильным и присоединяются к нему при исследовании надежности машинистов локомотивов.

Другой подход рассматривает надежность человека как способность действовать в соответствии с определенными требованиями в течение заданного времени. Так, Г. А. Сергеев, А. Ф. Романенко, анализируя статистическую струк-

туру выходных реакций операторов, определяют надежность как вероятность протекания рабочего процесса регулирования с заданными уровнями точности и устойчивости, обеспечивающими эффективное функционирование системы «человек-автомат». Р.М. Мансуров, Г.В. Суходольский определяют надежность как понятие, противоположное ненадежности, т. е. свойству человека ошибаться при выполнении определенной работы в определенных условиях.

В.Д. Небылицын считал, что надежность человека-оператора обусловлена тремя основными факторами:

- степенью инженерно-психологической согласованности техники с психофизиологическими возможностями оператора для решения возникающих у него задач;
- уровнем обученности и тренированности оператора при выполнении этих задач;
- его физиологическими данными, в частности особенностями нервной системы, состоянием здоровья, порогами чувствительности, а также психологическими особенностями его личности.

Таким образом, автор рассматривал надежность оператора не только как функцию его индивидуальных физиологических и психологических качеств, но и как функцию возникающих у него задач и технических условий, в которых они разрешаются.

В изучении проблемы надежности оператора наметилось направление исследований, основной целью которых была разработка методов априорной количественной оценки надежности оператора на основе технических характеристик решаемых им задач и технических условий его деятельности. Среди исследований этого плана следует выделить работы А.И. Губинского, Ю.Г. Фокина и В.И. Николаева. В этих и других работах предлагались способы расчетов прагматической надежности оператора, основанные главным образом на методах теории технической надежности.

В этой связи вопросы технической надежности и ее теории по ряду причин представляют интерес для инженерной психологии и заслуживают хотя бы краткого обсуждения.

### *7.1.1. Некоторые положения теории технической надежности*

Надежность технических устройств или их элементов может оцениваться как качественно, так и количественно. Качественное определение надежности как свойства технического устройства или системы выполнять заданные функции с требуемым качеством в установленных условиях использования уже

упоминалось выше. К этому определению можно только добавить, что под требуемыми качествами функционирования здесь понимается выдерживание показателей работы устройства (его рабочих параметров) в тех пределах, которые соответствуют заданному режиму и условиям его работы.

Количественно надежность выражается вероятностью  $p(t)$  безотказной работы устройства в данных условиях эксплуатации в течение установленного промежутка времени. Математически этот показатель можно определить как вероятность события, при котором время  $T$  безотказной работы устройства, являющееся случайной величиной, будет больше некоторого заданного времени  $t$ :

$$p(t) = P(T > t). \quad (7.1)$$

*Отказом технического устройства называется утрата таких его свойств, без которых устройство не может выполнять возложенные на него функции.* Поскольку указанное событие всегда сопровождается отклонением выходных параметров системы (фактически и определяющих ее назначение) за допустимые пределы, то в качестве определения отказа технической системы можно использовать также событие превышения ее выходными параметрами установленных технических ограничений.

Вероятность отказа  $q(t)$ , т. е. события, противоположного событию безотказной работы, определяется:

$$q(t) = 1 - p(t). \quad (7.2)$$

Вполне очевидно, что с увеличением времени работы устройства вероятность его отказа непрерывно возрастает, т. е. при любом  $t_2 > t_1$ :

$$q(t_2) > q(t_1).$$

Отсюда следует, что  $q(t)$  — неубывающая функция времени. Очевидно, при  $t = 0$  (т. е. пока устройство еще не работало), вероятность отказа устройства  $q(t) = 0$ , а при  $t = \infty$  (когда оно проработало бесконечно большое время)  $q(t)$  стремится к единице, т. е. вероятность отказа становится достоверным событием.

Из практических соображений важно определить, как изменяется функция  $q(t)$  с течением времени при изменении  $t$  в пределах  $0 < t < \infty$ . Это можно решить экспериментально, если сразу после выпуска из производства одновременно включить в эксплуатацию  $N_0$  устройств и с течением времени фиксировать число их отказов. Такие испытания неоднократно проделывались,

и на их основании была выявлена следующая закономерность. В первый период эксплуатации вероятность отказов быстро растет — сказываются недостатки производства, не выявленные при выпуске продукции. В этот период, который продолжается от десятков до сотен часов, идет приработка устройства.

После окончания приработки (с момента  $t_1$ ) рост функции  $q(t)$  стабилизируется. Однако ее кривая  $q(t)$  несколько возрастает, так как по мере отказов отдельных устройств убывает число устройств, оставшихся в эксплуатации, отчего показатель вероятности их отказов увеличивается. Этот наиболее длительный период продолжается сотни и тысячи часов.

С момента  $t_2$  наступает третий период, когда начинает сказываться износ деталей, старение материала — здесь вероятность отказов уже растет значительно быстрее, чем во втором периоде. Для практики важно выявить наступление третьего периода, чтобы начать замену устройств на новые.

Кривая  $q(t)$  характеризует изменение вероятности отказов системы (как бы их накопление) и называется интегральным законом распределения.

Продифференцировав функцию  $p(t)$ , можно получить плотность распределения времени безотказной работы (дифференциальный закон):

$$\frac{dp(t)}{dt} = f(t). \quad (7.3)$$

Заметим, что вероятность отказа человека-оператора за продолжительное время непрерывной работы (смену, дежурство, вахту и т. п.) определяется закономерностью, сходной с описанной. Здесь в период его вхождения в работу тоже обнаруживается рост вероятности отказа. Во второй, наиболее продолжительной фазе — фазе устойчивой работоспособности — вероятность отказа стабилизируется. В третьей фазе за счет развития утомления вероятность отказа оператора со временем резко возрастает.

Вероятность безотказной работы технического устройства для любого момента времени эксплуатации  $t$  практически рассчитывается по статистическим данным:

$$p(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (7.4)$$

где  $N_0$  — число контролируемых устройств;

$n(t)$  — число отказавших устройств к моменту  $t$ ;

$p(t)$  — вероятность безотказной работы устройства за время  $t$ , полученная по статистическим данным.

Формула (7.4) позволяет давать оценки надежности устройств лишь после их испытания, т. е. апостериорно. Для определения зависимости, по которой можно было бы заранее рассчитывать вероятность безотказной работы устройства за время  $t$ , вводится понятие интенсивность отказов  $\lambda(t)$  как отношение числа отказавших устройств в единицу времени к среднему числу устройств, работающих в этот период безотказно. И после несложных математических преобразований выводится формула вероятности безотказной работы технического устройства, названная общим законом надежности, который применяется для подсчетов и прогнозирования надежности во многих практических случаях.

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}.$$

Как следует из формулы, характер изменения вероятности безотказной работы устройства по времени при принятых допущениях зависит только от характера изменения во времени интенсивности отказов.

Для многих практических случаев можно считать, что интенсивность случайных отказов устройств остается во время эксплуатации неизменной:

$$\lambda(\tau) = \text{const.} \quad (7.5)$$

В этом случае формула приобретает вид:

$$p(t) = e^{-\lambda t}. \quad (7.6)$$

Данная закономерность получила название *экспоненциального закона надежности*. Зная значение интенсивности ( $\lambda$ ) случайных отказов устройства в данных условиях эксплуатации, с помощью этого закона можно непосредственно подсчитывать вероятность его безотказной работы за тот или иной период времени. (Заметим, что формула технической надежности иногда определяется и другими показательными законами, но в их основе обычно лежит характеристика интенсивности отказов.)

Рассмотрим применение экспоненциального закона для оценки надежности системы, включающей в себя ряд технических устройств. Структурную схему любой системы можно обычно привести к схеме, состоящей из  $n$  последовательных звеньев. Если вероятность работы этих звеньев составит соответственно  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ ...,  $p_n(t)$  и отказы отдельных звеньев возникнут независимо, то вероятность  $P_s(t)$  безотказной работы системы определится произведением:



$$P_s(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_n(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t}, \quad (7.7)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  — интенсивности отказов соответственно 1, 2, ...,  $n$  звеньев.

Экспоненциальный закон надежности имеет один значительный недостаток — при экспоненциальном законе предполагается, что вероятность безотказной работы за данный промежуток времени не зависит от того, сколько времени до этого работало устройство. Вероятность отказа устройства до момента  $t_0$  и после него зависит только от случайных факторов, определяющих характеристику  $\lambda$ . Увеличение же вероятности отказа техники за счет ее постепенного износа в формулах (7.5) и (7.6) не учитывается. Однако, несмотря на это, экспоненциальный закон широко применяется на практике, поскольку, как показывает опыт, он достаточно хорошо описывает вероятность внезапных случайных отказов. С понятием надежности и отказа тесно связаны такие важнейшие для железнодорожного и авиационного транспорта понятия, как функции и элементы безопасности.

Полнота безопасности нормирована четырьмя уровнями SIL (safety integrity level). Уровень полноты безопасности SIL, равный 4, например, характеризует наибольшую полноту безопасности. Интенсивность опасных отказов аппаратуры, отвечающую этому уровню, рекомендуется назначать в пределах  $\lambda_{IV} = [10^{-9} \dots 10^{-8}]$  1/ч. Уровень SIL1, т. е. первый уровень, соответствует наименьшей полноте безопасности. Его характеризуют интенсивностью опасных отказов  $\lambda_I = [10^{-6} \dots 10^{-5}]$  1/ч. Уровни 2 и 3 нормированы соответственно величинами  $\lambda_{II} = [10^{-7} \dots 10^{-6}]$  1/ч и  $\lambda_{III} = [10^{-8} \dots 10^{-7}]$  1/ч.

Иными словами, системы, призванные обеспечить безопасность движения, например локомотивные приборы и системы интервального регулирования, должны с вполне определенной вероятностью удовлетворительно выполнять требуемые функции безопасности при всех оговоренных условиях в течение заданного периода времени.

Наряду с понятием отказа, в технической надежности используется также понятие неисправности устройства. Неисправностью называется *событие, заключающееся в отклонении от нормы таких характеристик устройства, которые существенно не отражаются на его работоспособности*. Заметим, что событие неисправности следует всегда констатировать исходя из решаемой задачи, поскольку параметр, несущественный в одной задаче, может оказаться весьма существенным в другой. В технике используется также понятие сбой — *нарушение работы системы под влиянием помех*. Сбои не связаны с изменением внутреннего состояния устройства и после устранения помех также ликвидируются.

Задачей теории технической надежности является не только разработка методов оценки надежности технических устройств, но и изыскание путей повышения их надежности. Современные сложные технические устройства состоят из большого числа звеньев и их элементов. Согласно (7.7), с увеличением числа последовательных звеньев общая надежность системы понижается. Поэтому одним из основных способов повышения надежности сложных систем является повышение надежности их отдельных звеньев и элементов.

В настоящее время достигнуто высокое стандартное значение интенсивности микропроцессорных устройств ( $\lambda_0 = 10^{-6}$  1/ч.). По данным, полученным фирмой «Texas Instrument», это значение доходит до  $\lambda_0 \leq 10^{-7}$  1/ч.

Многие зарубежные фирмы-производители работают над созданием недорогих отказоустойчивых микропроцессоров со встроенным резервированием и диагностикой и готовят их к передаче потребителю. В этих микропроцессорах высокий уровень надежности и полноты функциональной безопасности достигается непосредственно в каждом из них. Учитывая существующий короткий период обновления микропроцессорной техники (8–10 лет), эти процессоры следует ожидать в широком ассортименте уже в ближайшее время. Однако увеличение надежности элементов обычно связано с большими техническими трудностями. Поэтому этот вопрос решается и иным путем: разрабатывают такие схемы соединения элементов, которые позволяют достигать надежной работы системы при ограниченной надежности ее составляющих. Примером подобных схем является дублирование устройств, где в случае выхода из строя одного устройства автоматически или вручную включается резервное. Существуют и другие пути повышения надежности работы техники: создание самонастраивающихся систем, способных противостоять внешним возмущающим факторам (в том числе и отказам отдельных элементов), рациональное профилактическое обслуживание, прогнозирование отказов отдельных устройств и их своевременная замена и др.

### *7.1.2. Применение методов технической надежности к человеку-оператору*

В основе теории технической надежности лежат методы оценки случайных процессов, нарушающих работу технических устройств. Подобный подход оказывается применим и к оценке деятельности оператора, поскольку она особенно подвержена воздействию множества случайных факторов, которые влияют также на работу машины и на взаимодействие с ней оператора. Поэтому

зависимости и формулы, выведенные в теории технической надежности, оказываются в принципе применимыми и к оценке надежности оператора. Некоторые понятия этой теории фактически уже перенесены непосредственно на оператора: работоспособность — способность к выполнению задач в условиях помех, напряженность — мера энергетического режима действия и пр.

Из теории технической надежности было заимствовано и определение надежности оператора. Надежность человека-оператора — *свойство, характеризующее его способность безотказно действовать в течение определенного интервала времени при заданных условиях.*

Такой точки зрения придерживаются в своих работах, как мы отмечали выше, Г. А. Сергеев и А. Ф. Романенко, Р. М. Мансуров и Г. В. Суходольский, А. И. Губинский, Б. Ф. Ломов и др.

Другая группа исследователей (В. Д. Небылицын, Е. А. Милерян, Н. Д. Завалова, В. А. Пономаренко, Л. С. Нерсисян, О. А. Конопкин) считают, что *надежность человека надо определять как способность к сохранению определенных рабочих параметров в экстремальных условиях работы.*

Иными словами, эти авторы делают акцент на том запасе прочности, которым обладает оператор, работая в нормальных условиях и который гарантирует его от отказов в случае усложнения ситуации.

При оценке надежности оператора требуется, прежде всего, определить, что понимается под отказом оператора. По аналогии с определением отказа технических устройств в инженерной психологии отказ человека-оператора рассматривается как *невыполнение им предписанных действий или снижение качества их выполнения за пределы, необходимые для достижения цели.* Если отказ технического устройства квалифицировался только по отклонению его выходных параметров за установленные границы (безотносительно к влиянию этого события на выходные параметры системы), то отказ оператора непременно будет связан с отклонением за допустимые пределы выходных характеристик системы, — характеристик, за которые он ответствен и которые определяют достижение цели деятельности.

В указанном определении отказ человека-оператора квалифицируется по его конечным результатам. Это обстоятельство имеет здесь принципиальное значение, поскольку человек располагает большими компенсаторными возможностями, позволяющими ему своевременно приостанавливать и исправлять неправильные действия, а также предотвращать их отрицательное влияние на систему.

У человека-оператора можно выделить временные неустойчивые отказы (ошибки), связанные, например, с флуктуационными процессами в анализаторных

системах, и временные устойчивые отказы, причиной которых является утомление, излечимый травматизм, стрессовые ситуации. Кроме этого, существует понятие оперативного отказа, который выражается в недостижении цели из-за дефицита времени. Некоторые авторы подразделяют отказы следующим образом:

- *активные и пассивные* (первые связывают с неправильным опознанием сигналов, неправильным выполнением действий, вторые — с ошибками памяти, внимания и пр.);
- *внезапные и постепенные* (отказ возникает скачкообразно или в результате постепенного накопления сдвигов);
- *явные и неявные* (проявляются сразу или впоследствии).

Наряду с понятием «отказ» в отечественной и зарубежной литературе иногда идет речь о надежности оператора, фигурирует понятие ошибки, под которой одни авторы понимают любое нарушение предписанного оператору алгоритма деятельности, другие — любое конкретное действие человека в процессе его деятельности, которое выходит за некоторые допустимые границы, т. е. превышает допуск, границы которого определены режимами работы системы. Соответственно основным понятием надежности оператора является безошибочность. По аналогии с работой технических устройств, среди других показателей надежности человека-оператора выделяют готовность, восстанавливаемость и своевременность.

Готовность — это способность переходить в рабочее состояние в нужный момент. В психологическом плане состояние готовности отражает процесс осознания целей деятельности, осмысливания и оценки условий предстоящих действий, актуализации опыта в решении аналогичных задач, мобилизации сил в соответствии с условиями и целями деятельности.

Показатель своевременности действия оператора определяет продолжительность, скорость достижения определенной цели, нарушение которых рассматривается как ошибка. Несвоевременное решение задачи может иметь место также при исправлении допущенных ошибок.

Восстанавливаемость отражает скорость и полноту достижения требуемого уровня работоспособности при наступлении временных отказов в деятельности. Этот показатель отражает также возможность самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных ошибок.

### 7.1.3. Классификация ошибок человека-оператора

Существует несколько способов классификации ошибок человека-оператора. В системном контексте первостепенный интерес представляют те ошибки, которые характеризуют неверное входное воздействие на систему. Неправильные входные параметры системы появляются в результате ошибок оператора (его выходных параметров). Если при рассмотрении выходных параметров оператора не учитывать внутренние процессы, то в получающейся классификационной схеме устанавливаются связи между выходными параметрами оператора и системными требованиями. Такая схема была предложена Суэйном, и в США используется многими исследователями для анализа надежности человека-оператора.

Суэйн считает, что человек может допустить ошибку, если он выполняет задание неправильно либо неспособен его выполнить вообще или в течение отпущенного времени. *Ошибка пропуска* возникает тогда, когда оператор пропускает все задание или один из этапов его выполнения. *Ошибка в выполнении* проявляется тогда, когда оператор выполняет задание, но делает это неправильно. К данной большой категории относятся *ошибки в выборе, ошибки в последовательности действий, ошибки во времени и качественные ошибки*.

Более полной, также соответствующей системному контексту, является классификация ошибок, предложенная Г. М. Зараковским и В. И. Медведевым. Каждая ошибка здесь анализируется с позиции следующих основных критериев:

1. Место ошибки в структуре функционирования системы «человек - машина».
2. Внешнее проявление ошибки.
3. Последствия ошибки.
4. Характер отображения ошибки в сознании оператора.
5. Причины ошибки.

По каждому названному критерию были разработаны методы более детального анализа ошибки.

При оценке **места ошибки в структуре функционирования системы** (пункт 1) уточняется, в какой конкретно системе произошла ошибка, при выполнении какой технологической операции, при выполнении какого действия она возникла. При этом авторы предполагают, что для каждой рассматриваемой системы имеется классификация всех используемых в ней технологических операций, а также классификация отдельных действий.

При определении **внешнего проявления ошибки** (пункт 2) решается задача отнесения возникшего отказа системы «человек-машина» к определенной

категории (предполагается, что в каждой системе имеются перечни различных видов возможных отказов). Здесь устанавливается, что именно в действиях оператора отклоняется от существующих правил (пропуск действий, их перестановка, выполнение непредусмотренного действия, нарушение временного интервала, неправильные измерения интерференция навыка и пр.).

**Последствия ошибки** (пункт 3) анализируются с трех точек зрения:

- *по влиянию ошибки на эффективность системы* «человек-машина» (рассматриваются различные уровни изменения эффективности системы и выделяется тот, к которому привела эта ошибка);
- *по ее влиянию на деятельность оператора* (оценивается степень этого влияния, воздействие ошибки на структуру деятельности, возможность появления новых ошибок и пр.);
- *по той «цене», которой приходится расплачиваться оператору за эту ошибку* (общефизиологическим, психологическим, нервно-психическим нарушением и пр.).

Пункт 4 предполагает анализ ошибки по критерию **степени ее осознанности**. Возможны ошибки осознанные и неосознанные. Осознанные ошибки могут сопровождаться актуализацией компенсаторных возможностей, но могут проявляться и без такой актуализации.

В последнем пункте — (пункте 5) — анализируются уже **причины ошибки**. Здесь авторы выделяют три категории причин: непосредственные, главные и способствующие. Остановимся более подробно на всех этих причинах ошибки.

Непосредственные причины ошибки различаются с двух точек зрения.

1. *По месту в структуре деятельности*. По этому критерию ошибки оператора подразделяются на следующие виды:

- восприятия (зрительного, слухового, кинестетического и пр.);
- памяти (сохранения, воспроизведения; оперативной, долговременной);
- принятия решения (при действиях по правилам, в логических операциях, при подсчетах, при творческом мышлении);
- ответной реакции (движения, речевого ответа, запоминания) и др.

2. *По виду нарушенных закономерностей* выделяются следующие виды ошибок:

- несоответствие процесса переработки информации (через мерный поток информации, недостаток информации, недостаток исходных данных; несоответствие интенсивности сигналов пороговым характеристикам; неправильная оценка вероятности появления информации, ее значимости);
- несоответствие навыка (перенос навыка в условия, где он неприменим, недостаточный навык, ошибки переключения навыка и пр.);

- недостатки внимания (неправильное распределение внимания или его переключение, недостаточная концентрация, чрезмерная концентрация).

Главные причины ошибки оператора могут быть связаны со следующими факторами:

- а) рабочее место оператора (недостатки распределения функций между человеком и техническими устройствами, недостатки информационной модели, компоновки оборудования, условий жизнеобеспечения);
- б) организация труда и отдыха;
- в) подготовка оператора и системы к выполнению данной задачи;
- г) физическое и психическое состояние оператора;
- д) установка оператора к выполнению задачи.

Причины, способствующие возникновению ошибки, вытекают уже из более фундаментальных свойств оператора или условий его жизни и деятельности. Они возникают из общих особенностей его личности, общего состояния здоровья, системы его подготовки, общей организации труда, условий жизни, взаимоотношений в коллективе и пр.

Основное достоинство описанной классификации ошибок заключается в том, что она объединяет в единую систему большое число разнородных факторов: учитывает различные причины, порождающие ошибку, ее внешнее проявление, вытекающие из ошибки последствия. Кроме того, она указывает последовательность проведения психологического анализа при расследовании ошибочных действий оператора.

Среди других известных отечественных классификаций можно выделить классификацию ошибок по степени их преднамеренности, предложенную М. А. Котиком, а также схему классификационных признаков ошибок человека-оператора В. А. Бодрова и В. Я. Орлова [1].

Следует отметить, что даже при наличии четкой системы классификации при анализе ошибок оператора возникает ряд дополнительных трудностей, которые порождаются следующими причинами.

Во-первых, чтобы установить сам факт возникновения ошибки, нужно точно знать существующие нормы и допустимые погрешности для рассматриваемых условий работы системы. Так, например, ошибку не обнаружения летчиком цели на экране радиолокатора трудно диагностировать, поскольку, как правило, отсутствуют четко заданные предельные нормы минимальной величины и яркости отметки, при превышении которых цель во всех случаях должна обнаруживаться. Еще сложнее устанавливать причины ошибок. По каким, например, критериям можно судить о недооценке вероятности появления сигнала или недооценке его значимости?

Во-вторых, при анализе ошибки оператора приходится принимать во внимание, наряду с причинами ее возникновения, также причины несвоевременного обнаружения оператором своей ошибки и ее неустранения.

В-третьих, при анализе ошибок оператора часто бывает сложным установить их первопричину. Так, например, недостатки шкалы индикаторного прибора могут в некоторой мере усложнять условия деятельности оператора, однако далеко не всегда они являются причиной ошибочных отсчетов показаний с этого индикатора.

Можно указать и другие трудности анализа и диагностирования причин ошибок оператора, связанные с оценкой его состояний, условий деятельности и пр. Все они свидетельствуют о сложности анализа причин ошибочных действий оператора и значении, которое принадлежит в этом вопросе системе классификации.

Поскольку отказы человека-оператора рассматриваются как его крупные ошибки, ведущие к прекращению деятельности, то к ним следует подходить с теми же критериями, которые используются при анализе ошибок. В частности, для разграничения и анализа отказов оператора в полной мере применима приведенная классификация ошибок.

Для оценки и прогнозирования надежности оператора обычно используются показатели интенсивности ( $\lambda$ ) отказов и вероятности безотказной работы  $p(t)$ , определяемую по формуле (7.6).

В качестве показателя надежности оператора, выполняющего однотипные действия, часто используется характеристика среднего времени безотказной работы ( $T_p$ ). Если одновременно работает  $m$  операторов и оператор  $i$  за время  $t_1$  допускает  $k_1$  отказов, то средняя статистическая частота его отказов  $f_1^*(t)$  составит:

$$f_1^*(t) = \frac{k_1}{t_1}.$$

В таком случае время  $\Delta t_1$  между отказами оператора  $i$  будет равно:

$$\Delta t = \frac{1}{f_i^*(t)}.$$

А среднее время безотказной работы для всех  $m$  операторов, осуществляющих однотипные действия, определится из следующей зависимости:

$$T_p = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{f_i^*(t)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{t_1}{k_1}.$$



Для оператора, выполняющего разнообразные функции, и отказы могут быть весьма разнообразными. В подобных случаях указанная формула может использоваться для обобщенной оценки времени безотказной работы оператора без детализации характера проявления отказов. Однако большой интерес для инженерной психологии представляют данные об однотипных отказах или отказах, присущих определенным операциям. В таких случаях используются статистические данные о частоте появления отказов именно этого типа или именно в этой операции, по которым находятся соответствующие показатели среднего времени безотказной работы оператора по отношению к данному типу нарушений.

В настоящее время разработан ряд конкретных практических методов прогнозирования прагматической надежности работы оператора в системе.

Наибольшую известность за рубежом получила разработанная в США Суэйном и Руком методика оценки коэффициентов ошибок человека (МОКОЧ). В основу этого метода положен традиционный подход к анализу надежности технических устройств, который модифицирован с учетом большей изменчивости и взаимозависимости действий оператора по сравнению с работой оборудования. Основные этапы метода МОКОЧ выглядят следующим образом:

1. Определение отказов системы, вызываемых ошибками человека- оператора.
2. Идентификация, регистрация и анализ управляющих действий оператора и их взаимосвязи с задачами системы и ее нормальным функционированием.
3. Оценка относительных вероятностей ошибок человека.
4. Выяснение влияния ошибок человека на отказы в работе системы.
5. Рекомендации по изменениям системы для понижения количества ее отказов до приемлемого уровня.

Основа для моделирования задач и цепочек задач — дерево событий анализа надежности человека. МОКОЧ моделирует события в виде последовательности двойных узловых точек принятия решения. В каждой узловой точке задание выполняется либо верно, либо неверно, и соответственно в каждом двойном разветвлении вероятности событий в сумме должны составлять 1.0. Вероятности, определенные для всех видов деятельности оператора, изображенных ветвями дерева, являются условными, кроме вероятностей, представленных первой ветвью. Когда дерево событий анализа надежности человека сформировано и оценки условных вероятностей произведены, выполняется расчет вероятностей прохождения дерева по каждому пути. Следует отметить, что МОКОЧ достаточно универсальный метод, применимый для оценки надежности оператора не только в атомной и других отраслях промышленности, но и в транспортных системах. Идеино близок к методу МОКОЧ *структурный*

*метод оценки надежности* выполнения оператором заданной деятельности, предложенный А. И. Губинским. В нем для расчета надежности работы оператора также используются методы теории технической надежности и теории массового обслуживания.

Сущность его заключается в следующем. Управляющая деятельность оператора разлагается на иерархический ряд уровней, каждый из которых представляется в виде определенной структуры. Так, высший — оперативный уровень — рассматривается в виде структуры решаемых задач. Последующий уровень анализируется в виде структуры отдельной задачи и алгоритма ее решения. Затем следует уровень, на котором анализируются блоки операций, входящие в алгоритм решения. Подобное дробление деятельности оператора происходит вплоть до самого низкого уровня — отдельных психофизиологических актов. Последние рассматриваются как оперативные единицы деятельности.

На основе числовых характеристик отдельных оперативных единиц можно произвести расчет вероятности своевременного и безошибочного выполнения оператором отдельных типичных блоков операций, отдельных задач и всей деятельности.

*Метод статистического эталона*, позволяющий прогнозировать надежность работы оператора, был разработан Ю. Г. Фокиным. Как и структурный метод, он основан на определении совокупности показателей вероятности своевременного и безошибочного выполнения оператором отдельных операций. Достоинство этого метода заключается в том, что в нем в большей мере, чем в структурном, учитываются особенности и условия выполняемой деятельности. Деятельность оператора здесь анализируется на так называемом «статистическом эталоне» — условной аппаратуре, где отражены не только конструкция, размещение и другие особенности оборудования рабочего места, но и типы выполняемых оператором действий, их последовательность. При таком подходе представляется возможным анализировать не просто отдельные действия оператора, но и взаимосвязь этих действий, а также оценивать сложность этой взаимосвязи. На основе подобного анализа определяются статистические показатели деятельности, и по ним рассчитывается надежность выполнения оператором рассматриваемой задачи вначале со статистическим эталоном, а затем, с учетом поправок, и надежность его работы в реальных условиях. Нам представляется, что этот метод при его дальнейшем развитии можно с успехом применять для оценки прагматической надежности работы оператора в транспортных системах, используя для этого современные тренажеры, описанные в главе 13.

Существуют и другие методы оценки надежности работы оператора, в которых, кроме того, учитывается напряженность его работы, совмещение отдельных операций, но все они также базируются на использовании статистических показателей своевременности и безошибочности действий.

Среди них отметим: метод дерева действий оператора (ДДО), разработанный Фраголой и Холлом и отличающийся от МОКОЧ менее детальным анализом задачи и применением более общего подхода при анализе ошибок диагностики и принятия решений; метод экспертной оценки, разработанный Сивером и Стиллвелом; метод показателя вероятности успеха, разработанный Эмбри, и также, как и предыдущий, основанный на экспертных оценках. Все эти методы разрабатывались для выявления ошибок диагностики и принятия решений операторами атомных станций, и поэтому применение их для оценки прагматической надежности работы оператора в транспортных системах требует проведения специальных исследований.

Основная проблема сравнительно новой области науки, касающейся надежности человека, — недостаток данных. Из предыдущих разделов следует, что на определенном этапе процесса анализа и прогнозирования все методы анализа надежности человека нуждаются в сведениях об ошибках человека. Для методов синтеза и моделирования требуются номинальные вероятности ошибок человека (ВОЧ) как основные элементы, комбинирование и манипулирование которыми помогает отразить специфические последовательности задач и ситуационных факторов ошибок. Данные нужны не только для выполнения анализа надежности человека, но и для проверки достоверности выводов, моделей и рекомендаций, которые заключают в себе все методики анализа надежности человека.

Нам представляется, что решение проблемы сбора данных об ошибках человека на железнодорожном транспорте должно осуществляться в тесной увязке с автоматизированной системой учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ). Как известно, с августа 2009 г. вторая очередь системы была внедрена на всех 17-ти железных дорогах ОАО «РЖД» и обеспечивает устойчивую работу более чем 20-ти тысячам пользователей, которые ежедневно ведут работу по учету и выявлению причин отказов технических средств. Дальнейшее развитие системы КАСАНТ предусматривает развитие подсистемы определения экономического ущерба от отказов технических средств и определения фактических показателей надежности по видам оборудования.

Разработчики КАСАНТ, создав гибкую основу программного обеспечения, внедрили систему как на диспетчерских участках с развитой программно-аппаратной средой, так и на участках, где ввод информации производится вручную.

Чтобы ослабить влияние «человеческого фактора» и повысить достоверность данных об отказах была осуществлена интеграция системы КАСАНТ с действующими отраслевыми автоматизированными системами управления в контексте обмена информацией об отказах.

При этом использовались расшифровка и анализ скоростемерных лент, кассет регистрации КЛУБ.У, сведения о нарушении нормальной работы с напольных устройств СЦБ, данных вагонов-измерителей и других мобильных средств измерения. Во второй очереди использовалась информация об отказах за счет автоматизированного съема первичной информации с электронного графика исполненного движения ГИД-Урал.

Этот краткий обзор системы КАСАНТ приведен нами в связи с тем, что необходимо в рамках этой системы организовать подсистему учета ошибок человека-оператора на железнодорожном транспорте.

В этой связи остро встает вопрос об источниках данных об ошибках. Имеются четыре основных источника: деятельность, ее моделирование, лабораторные эксперименты и экспертные оценки. Все источники приблизительно равноправны и обеспечивают данные приблизительно одинакового качества (или значимости). Натурные данные, собранные в процессе реальной деятельности, наиболее приемлемы для изучения анализа задач человека. К сожалению, именно натурные данные труднее всего собрать: чтобы документировать ошибки человека в течение активного производственного процесса, необходимо либо описывать их, либо работник, допустивший ошибку, должен доложить о ней. Существуют очевидные трудности в записи чужих ошибок и понятное нежелание со стороны работника признаваться в совершенных ошибках.

Другая возможность регистрации действий операторов и их ошибок — использование имитационных моделей и тренажеров при обучении, переподготовке и квалификационной аттестации специалистов. Возможность совершенной ошибки (определяющая знаменатель выражения для ВОЧ) так же хорошо поддается наблюдению и регистрации, как и совершение ошибки (числитель выражения для ВОЧ). Недостатки данных, полученных при моделировании, — их высокая стоимость и тот факт, что участники выполняют задание с необычно высокой степенью мотивации и готовностью к необычным событиям. Учитывая изложенное, исследователи могут использовать эти данные только как оценочные при работе с натурными результатами по ошибкам операторов.

Экспериментальные исследования также позволяют получить сведения об ошибках человека-оператора. Научная литература по общим вопросам поведения дает некоторую информацию по этому вопросу. Однако в большинстве экспериментов проверяются гипотезы и исследуются характеристики деятель-

ности (например, время реакции и критерий проб), поэтому данные об ошибках обычно контролируются (т. е. значения ошибок поддерживаются постоянными, в то время как другие характеристики изменяются), а не собираются или документируются. Недостаток серьезных теоретических работ по ошибкам человека обусловил скудость лабораторного оборудования для изучения их характеристик и механизмов. Возможно, оснащение должным образом экспериментов по сбору данных об ошибках человека в конкретной деятельности изменит положение, однако стоимость таких работ до недавнего времени была относительно велика, особенно если необходимо исследовать события с низкой вероятностью.

В настоящее время в условиях развития программных и аппаратных средств компьютерной техники стоимость оснащения этих экспериментов существенно снижается. Далее мы покажем использование лабораторных экспериментов для исследования профессиональной деятельности машинистов в условиях высокоскоростного движения и сбора данных об ошибках (вероятностях пропуска цели и ложной тревоги).

Экспертные оценки — наименее достоверный источник. В основном эксперты-профессионалы оценивают относительную или абсолютную вероятность ошибки для нескольких описаний задачи, и эти результаты приспособляются для употребляемых ВОЧ путем математического шкалирования. Очевидный недостаток этого способа состоит в том, что эксперт не имеет полной информации о задаче и испытывает недостаток в знаниях о количественных характеристиках (например, вероятностях, шансах), с помощью которых он должен давать оценки. С другой стороны, метод практичен, так как требует меньше затрат времени и средств по сравнению с другими способами сбора данных. Экспертные суждения в действительности не дают данных по ВОЧ, а являются только их оценками и, следовательно, не могут рассматриваться как надежный метод сбора нужной информации.

## 7.2. Влияние оператора на надежность системы

### 7.2.1. Оператор как компонент системы, способствующий повышению ее надежности

Между надежностью оператора и технических устройств в системе «человек-машина» существует довольно сложное взаимное влияние, которое можно представить схематически.

Как машина, так и оператор могут каждый в отдельности отказывать и выводить из строя систему. С одной стороны, машина из-за ее несовершенства может провоцировать отказы оператора. С другой стороны, человек, в свою очередь, тоже может при управлении машиной вызывать в ней отказы. Так, имеющаяся статистика надежности АРМа диспетчера, использующего ГИД УРАЛ, свидетельствует о том, что из 100 % неисправностей 16 % приходится на неработоспособность комплекса технических средств АРМа и 29 % на сбойные ситуации приложения, т. е. на проблемы, связанные в той или иной степени с программным обеспечением.

В то же время 17 % отказов вызваны недовольством пользователей выходной информацией и 22 % обращением пользователей настроить приложение, т. е. с «человеческим фактором».

Однако, как уже отмечалось, человек способен и благотворно влиять на надежность системы: он может обнаруживать и устранять отказы машины в случае их возникновения; может даже при отдельных поломках машины удерживать выходные параметры системы в заданных пределах и не допускать при этом ее полного отказа. Существуют и машины, способные в процессе работы системы контролировать состояние и управляющие действия оператора, способные отфильтровывать его ошибки, в случае нарушения нормальной жизнедеятельности оператора, автоматически резервировать его и таким образом предупреждать отказ системы. Исходя из принципа взаимного дополнения и резервирования, при конструировании систем «человек-машина» специально предусматривают подобные способы повышения надежности работы системы. Однако и в тех случаях, когда специальные технические средства резервирования не предусмотрены, уже само участие человека с его большими приспособительными и творческими возможностями в системе управления способствует повышению ее надежности.

Из опыта работы операторов различных профилей, в том числе летчиков и космонавтов, известно, что большинство отказов технических устройств, проявляющихся в процессе управления, они своевременно обнаруживают и предупреждают их отрицательное влияние на результаты работы системы. Подтверждением этому могут служить приведенные А. Чапанисом характеристики надежности работы навигационной системы при различных вариантах резервирования. Им установлено, что при однократном резервировании технических устройств человеком надежность навигационной системы оказывается выше, чем при использовании четырехкратного технического резервирования.

Теперь специально остановимся на некоторых возможностях количественного учета положительного влияния оператора на общую надежность системы

«человека-машина». Для этого должны приниматься во внимание также возможности оператора по обнаружению и парированию отдельных устройств системы.

Предположим, что в системе «человек-машина» действует  $n$  последовательных независимых технических звеньев. Вероятность выхода из строя системы из-за отказа звена  $i$  можно определить по формуле полной вероятности как сумму вероятностей, благоприятствующих этому событию:

$$\bar{s}_i = \bar{p}_i \bar{r}_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i,$$

где  $\bar{p}_i$  — вероятность отказа звена  $i$  за время  $t_0$ ;

$r_i$  — условная вероятность своевременного обнаружения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения;

$\bar{r}_i$  — условная вероятность несвоевременного обнаружения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения и своевременного обнаружения;

$\bar{f}_i$  — условная вероятность несвоевременного устранения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения и своевременного обнаружения.

Выражение (2.19) справедливо при условии независимости вероятностей  $\bar{p}_i$ ,  $\bar{r}_i$ ,  $\bar{f}_i$ . Обратное событие — вероятность безотказной работы системы ( $s_i$ ) в связи с действием звена  $i$  — будет:

$$\bar{s}_i = 1 - [\bar{p}_i \bar{r}_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i].$$

Предположим, что в рассматриваемой системе оператор способен парировать отказы, возникающие в  $k$  звеньях. В этом случае общая надежность системы ( $P_s$ ), с учетом надежности оператора ( $p_o$ ), определится произведением:

$$P_s = p_o \prod_{i=1}^k [1 - (\bar{p}_i \bar{r}_i + \bar{p}_i r_i \bar{f}_i)] \cdot \prod_{i=k+1}^n p_i.$$

Из этой формулы следует, что общая надежность системы оказывается обусловленной как надежностью ее отдельных звеньев, так и возможностями оператора по обнаружению и парированию их отказов в процессе управления. Поэтому при расчете надежности системы «человек-машина», наряду с оценками вероятности безотказной работы технических звеньев, нужны сведения о закономерностях обнаружения и парирования оператором отказов отдельных устройств.

Повышение надежности систем «человек-машина», в том числе и на железнодорожном транспорте, осуществляется в основном за счет увеличения

вероятности безотказной работы технических устройств и обеспечения более надежной работы оператора. Но как уже отмечалось, существует и *другой путь повышения надежности — создание для оператора условий, способствующих лучшему обнаружению и парированию отказов как можно большего числа звеньев*. Такой путь в ряде случаев оказывается более простым и экономически более выгодным.

Представляется возможным количественно оценить вклад оператора в обеспечение надежной работы системы «человек-машина». Это можно сделать посредством следующего соотношения:

$$\alpha = \frac{P_s - P}{P} = \frac{\prod_{i=1}^k [1 - (\bar{p}_i \bar{r}_i - \bar{p}_i r_i \bar{f}_i)]}{\prod_{l=1}^K p_l} - 1,$$

где  $\alpha$  — коэффициент, определяющий вклад оператора в обеспечение общей надежности системы;

$P$  — общая надежность системы, включая оператора ( $p_0$ ), без учета его положительного влияния на надежность системы, которая определяется следующим образом:

$$P = p_0 \cdot p_1 \cdot p_2 \dots p_n = p_0 \prod_{i=1}^n p_i.$$

Если предположить, что оператор хорошо обучен и после обнаружения безусловно устраняет все парируемые отказы системы, т. е. во всех звеньях  $\bar{f}_i = 0$ , то выражение упрощается и принимает вид:

$$\alpha = \frac{\prod_{i=1}^k [1 - \bar{p}_i \bar{r}_i]}{\prod_{l=1}^K p_l} - 1.$$

Из формулы следует, что в случае своевременного обнаружения оператором всех парируемых отказов ( $\bar{r} = 0$ )  $\alpha$  будет максимальным и равным:

$$\alpha = \frac{1 - \prod_{i=1}^k [1 - \bar{p}_i \bar{r}_i]}{\prod_{l=1}^K p_l}.$$



Напротив, если оператор не в состоянии компенсировать отказы системы (во всех  $k$  звеньях  $\bar{r} = 1$ ), то  $\alpha = 0$ . Таким образом, коэффициент  $\alpha$  может изменяться в пределах:

$$0 \leq \alpha \leq \frac{1 - \prod_{i=1}^k [1 - \bar{p}_i \bar{r}_i]}{\prod_{i=1}^K p_i}.$$

Практическое применение формул позволяет оценить надежность многих систем ручного управления как в авиации, так и на железнодорожном транспорте. М. А. Котик в [15] показывает это на примере управления самолетом по крену. Обобщая, можно распространить применение формул на любую систему, управляемую человеком, которую можно представить в виде структурной схемы, состоящей из цепочки последовательных звеньев. При этом каждому звену должны быть указаны значение вероятности его отказа  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_n$ , а также значения, входящих в  $r_i$  — условных вероятностей своевременного обнаружения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения;  $\bar{r}_i$  — условных вероятностей несвоевременного обнаружения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения и своевременного обнаружения;  $\bar{f}_i$  — условных вероятностей несвоевременного устранения оператором отказа звена  $i$  в случае его возникновения и своевременного обнаружения. В результате получим величину общей надежности системы с учетом способности человека-оператора своевременно обнаруживать и устранять отказы отдельных ее звеньев.

В этой связи следует учитывать при разработке систем автоведения электропоездов результаты исследований, проведенных в авиационной психологии.

Так, например, было установлено, что при использовании автоматического управления (когда нагрузка летчика не столь велика) его возможности по обнаружению и парированию отказов технических устройств существенно ниже, чем при пилотировании самолетом вручную.

Интересную и, на наш взгляд, плодотворную попытку оптимизации характеристик надежности и функциональной безопасности локомотивных приборов управления и обеспечения безопасности движения с учетом возможностей машиниста предприняли авторы работы [16].

Они исходят из того, что оценкой среднего значения интегральной интенсивности перехода системы в опасное состояние является сумма следующего вида:

$$\Lambda_{\text{оп}} = (1/2)\lambda_c(\alpha)\lambda_m T_p + \alpha\lambda_c(\alpha),$$

где  $\lambda_c$  — интенсивность отказов системы;

$\alpha$  — вероятность пропуска отказа (нераспознавание системой своего отказа);

$\lambda_m$  — интенсивность ошибочных действий машиниста;

$T_p$  — интервал регенерации, по завершению которого в момент  $t = T_p$  система восстанавливается.

Первое слагаемое в этой формуле связано с одним из вероятных событий — система отказывает, переходит в защитный отказ, машинист берет на себя выполнение функций безопасности; второе слагаемое — с другим событием, — когда система отказывает, отказ не выявляется, и система продолжает функционировать со скрытым отказом.

Решая оптимизационную задачу поиска наилучшего соотношения между риском  $\alpha$  и риском защитного выключения, при котором значение параметра потока отказов примет наименьшее значение, Б. Д. Никифоров и соавторы показывают, что уровень интегральной полноты безопасности SIL4 обеспечивается резервированием достаточно надежных исходных элементов с интенсивностью отказов не более  $10^{-6}$  1/ч, соответствующей кратности их резервирования не менее 2–3, и включением в контур обеспечения безопасности движения «надежного» машиниста, параметр потока ошибочных действий которого не превосходит уровня  $10^{-4}$  1/ч.

Получить при этом приемлемые результаты по требуемому объему аппаратуры — от двух до четырех избыточных элементов — оказалось возможным благодаря включению машиниста в контур обеспечения безопасности движения. Попытки построить надежный автомат с аналогичными характеристиками, работающий автономно, приводят к увеличению объема аппаратуры, что может оказаться экономически нецелесообразным.

## 7.2.2. Надежность оператора и техники относительно опасных отказов

Характеристика надежности оператора или технического устройства показывает, в какой мере человек и техника способны работать без отказов. Примечательной особенностью этого показателя является тот факт, что он полностью *игнорирует содержательную сторону отказа*, фиксируя только вероятность события появления или не появления отказа. Поэтому характеристика надежности оказывается применимой к любому устройству, к оценке любого вида деятельности, независимо от выполняемой функции и тех последствий, к которым ведет отказ.

Подобная универсальность понятия надежности, достигнутая за счет пренебрежения его содержанием и весьма ценная при использовании в технике, при-

менительно к человеку оборачивается существенным недостатком. Для человека важен не столько сам факт возникновения в системе отказа, сколько его значение, а главное, значение тех последствий для системы, которые влечет за собой этот отказ. Так, например, если летчик сообщает на землю, что на самолете возник отказ, то такая информация, с точки зрения руководителя полетов, является столь неопределенной, что фактически ничего ему не дает. Здесь важна содержательная сторона отказа. Если на самолете вышел из строя резервный пилотажный прибор (это уже считается отказом системы), то такое событие не представляет опасности для полета и указывает лишь на то, что потребуются некоторый ремонт. Если же на самолете отказало рулевое управление, и он стал неуправляем, то это событие оказывается чрезвычайно значимым как для летчика, так и для людей на земле, осознавших его смысл. Точно так же и отказ машиниста в одном случае может вести только к временному прекращению работы системы, а в другом — к самым тяжелым последствиям, вплоть до гибели людей.

Анализ ранних работ (до 80-х годов прошлого столетия) показывает, что в подавляющем большинстве в качестве показателя безопасности применяется вероятность успешного решения или вероятность противоположного события: появление аварии (опасного последствия).

Г. В. Дружинин [17] выделил 4 типа систем, различающихся последствиями появления опасных отказов технических средств.

1. Влияние отказа на качество функционирования системы компенсируется, выполнение задачи продолжается, но оператор работает с перегрузкой.
2. Отказ устраняется, выполнение задачи продолжается.
3. Выполнение задачи прекращается ввиду аварии.
4. Выполнение задачи продолжается при некомпенсированном отказе технических средств.

При анализе последствий отказов систем данного типа их необходимо свести к одному из перечисленных выше типов систем и выбрать соответствующие показатели надежности, приведенные в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Тип системы «человек и техника»		Показатели надежности технических средств, учитывающие требования безопасности
I	С компенсацией последствий отказов	$p(t, \Delta t), P_{\text{КТ}}, P_{\text{К.ОП}}$
II	С резервом времени (наработки) на устранение отказа	$p(t, \Delta t), k_{\text{Г}}, P_{\text{В}}$
III	С катастрофическими последствиями появления отказа технических средств	$p(t, \Delta t)$

$P_B$  — вероятность своевременного восстановления после появления отказа;

$P_B = P(t_B \leq t_{\text{доп}})$ ;

$p(t, \Delta t)$  — вероятность безотказной работы в течение времени решения задачи  $(t, t + \Delta t)$ ;

$k_T$  — вероятность успешного выполнения задачи в зависимости от средней на интервале  $((t, t + \Delta t)$  вероятности нахождения в работоспособном состоянии техники;

$P_{KT}$  — вероятность, с которой оператор компенсирует отказы техники;

$P_{K.OП}$  — вероятность, с которой оператор компенсирует свои ошибки.

Таким образом, при выборе номенклатуры нормируемых показателей надежности технических средств систем «человек и техника» из условий безопасности с учетом действий оператора необходимо перечислить виды опасных отказов, провести анализ возможных последствий их появления, выявить в процессе этого анализа тип системы по указанным выше признакам.

М. А. Котик считает [15], что *в инженерной психологии надежность работы оператора или технического устройства следует расценивать не только по вероятности невыполнения возложенных функций*, как это обычно делается в теории технической надежности, *но и по вероятности появления в связи с данным отказом оператора или технического устройства определенной категории последствий*.

Все отрицательные последствия, которые могут возникнуть в результате отказа оператора при выполнении им  $i$ -го действия, можно разбить на категории  $A, B, \dots, K$ . Наступление каждой категории последствий из-за события отказа ( $Q_i$ ) оператора при выполнении действия  $i$  определится следующими условными вероятностями:

$$P(A/Q_i), P(B/Q_i), \dots, P(K/Q_i),$$

где  $P(A/Q_i), P(B/Q_i), \dots, P(K/Q_i)$  — условные вероятности появления соответственно последствий  $A, B, \dots, K$  вследствие отказа оператора в действии  $i$ .

Если, например, вести речь о последствиях отказа машиниста, то здесь можно выделить следующие основные категории возможных последствий:

$A$  — нарушение безопасности поездки;

$B$  — срыв поездки;

$C$  — длительный ремонт техники и снижение ее готовности;

$D$  — текущий (кратковременный) ремонт техники.

Вероятность возникновения последствий каждой категории зависит от многих факторов: места, где произошел отказ, возможностей машиниста вовремя его заметить и парировать, наличия средств резервирования, защиты и т. д.

При оценке полной вероятности появления каждой категории последствий отказа оператора при выполнении данного действия учитываются следующие факторы:

- $q$  — вероятность отказа оператора при выполнении данного действия;
- $\beta$  — вероятность появления этого события в пути;
- $y$  — вероятность связи данного отказа только с последствием  $C(y_1)$ , или одновременно с последствиями  $B$  и  $C(y_2)$  или только с последствием  $B(y_3)$ ;
- $\alpha$  — вероятность отсутствия связи события ( $Q$ ) с опасным отклонением параметров режима движения;
- $\mu$  — вероятность автоматического парирования нарушения режима движения вызванного отказом;
- $v$  — вероятность парирования оператором возникшего нарушения с требуемой точностью;
- $\xi$  — вероятность своевременного парирования оператором возникшего нарушения;
- $\varphi$  — вероятность появления совместно с последствием  $A$  сопутствующих ему последствий  $C$  и  $B(\varphi_1)$ , или только последствия  $B(\varphi_2)$ , или  $C(\varphi_3)$ .

Последствие каждой категории может наступить при определенном стечении факторов, которые свяжут событие отказа ( $Q$ ) с этими последствиями.

Условная вероятность появления последствия  $A$  данного отказа оператора определяется:

$$P(A|Q)q = \beta(1 - \alpha)(1 - \mu)[(1 - v) + v(1 - \xi)]q.$$

Аналогичным образом могут быть определены условные вероятности появления при данном отказе соответственно последствий  $B$ ,  $C$  и  $D$ :

$$P(B|Q)q = \{(1 - \beta)(y_2 + y_3) + \beta[(1 - \alpha)(1 - \mu)(1 - v) + (1 - \alpha)(1 - \mu)v(1 - \xi)](\varphi_1 + \varphi_2)\}q;$$

$$P(C|Q)q = \{(1 - \beta)(y_2 + y_1) + \beta[(1 - \alpha)(1 - \mu)(1 - v) + (1 - \alpha)(1 - \mu)v(1 - \xi)](\varphi_1 + \varphi_3)\}q;$$

$$P(D|Q)q = q.$$

Необходимые для расчетов по формулам показатели определяются на основе статистических данных по практическому применению рассматриваемой системы или их прогнозированию.

Изложенный выше подход, а также полученные по ней формулы могут быть использованы и для определения последствий отказа самолетного устройства или локомотивных приборов управления. В таком случае событие  $Q_i$  рассматривается

как отказ данного  $i$ -го устройства и используются отдельные условные вероятности, показывающие в целом возможность наступления каждой из категории последствий. Таким образом, *представляется возможным расценивать отдельные действия оператора, а также отдельные технические устройства как потенциальные носители различной тяжести последствий*. Иначе говоря, подобным методом оценивается надежность оператора или технического устройства по отношению к определенным последствиям нарушения их работы. Так можно оценить, например, надежность данного управляющего действия или надежность конкретного самолетного устройства или локомотивных приборов управления по отношению к безопасности полетов или движения.

Количественные оценки надежности устройств по отношению к появлению опасных нарушений еще не нашли широкого применения, хотя в практической деятельности оператора они имеют большое значение. С накоплением опыта операторы обычно сами интуитивно, может быть до конца и не осознавая этого, приходят к подобным оценкам и руководствуются ими в практической деятельности. М. А. Котик приводит пример [15], связанный с работой водителей автотранспорта.

Опытный шофер, проверяя автомобиль перед выездом, значительно большее внимание уделяет проверке тормозов или рулевого управления, чем работе мотора, хотя последний отказывает значительно чаще. На основе опыта он осознает, что по отношению к тяжелому дорожному происшествию тормоза и рулевое управление обладают меньшей надежностью, чем мотор, ибо их отказы хотя и имеют не очень высокую вероятность, но очень опасны. Аналогичные примеры можно привести и из практики работы локомотивных бригад. Однако далеко не всегда надежность технических устройств по отношению к тяжелым последствиям выражается так очевидно. Поэтому изложенный выше подход имеет большое прикладное значение для различения действий оператора, а также отдельных устройств и количественного определения их влияния на результаты работы системы.

В современной литературе по вопросам надежности локомотивных приборов безопасности и обеспечения безопасности движения можно встретить разное обоснование понятия «опасный отказ». Так, в работе [14] опасным отказом считается не обнаруженный в течение допустимого времени по требованиям безопасности скрытый отказ.

Авторы этой работы связывают вероятность опасного отказа в сочетании с ущербом от него и с созданием риска безопасности. Существует допустимый уровень риска, при котором или ниже которого риск приемлем, и в этом случае проявившийся отказ устраняется в результате восстановления устройства.

Если же риск превышает допустимый уровень, то нарушаются требования безопасности, и в этом случае устраняется полученный ущерб, а устройство модифицируется и переводится в исправное состояние.

Величина риска функционально связывается с вероятностью возникновения опасного отказа в течение единицы времени и величиной ущерба от этого отказа. Ввиду того что оценка величины ущерба зачастую может носить и экономический, и социальный характер, приводить к тяжким последствиям для жизни и здоровья людей, в международном стандарте железнодорожного применения сгруппированы частоты (интенсивности) опасных отказов, а также сгруппированы уровни тяжести их последствий. Опираясь на положения международного стандарта В. А. Гапанович, Е. Н. Розенберг и И. Б. Шубинский [14] считают, что вместо понятий «экономический», «социальный» и других можно оперировать понятием «уровень тяжести последствия опасного события» и принимать уровень ущерба выше допустимого уровня, если уровень тяжести последствия опасного отказа недопустим или нежелателен (когда уменьшение риска выполнимо).

Уровень ущерба можно считать приемлемым, если уровень тяжести последствий опасного отказа может не приниматься в расчет или допустим, или нежелателен (уменьшение риска невыполнимо и при согласии административного органа железной дороги).

Исследование функциональной безопасности системы «человек-машина» с учетом вероятности возникновения опасных отказов, выполнимых с помощью графа, как и в статье В. А. Гапановича, Е. Н. Розенберга и И. Б. Шубинского [14].

На графовой модели вершинами показаны следующие состояния:

- 1 — СЧМ находится в исправном состоянии;
- 2 — СЧМ находится в состоянии восстановления работоспособности;
- 3 — состояние обнаружения отказа человеком в случае пропуска его автоматическими средствами;
- 4 — состояние устранения ущерба и модификации системы.

Дугам графовой модели прописаны следующие вероятности:

$p_{12} = \alpha$  — вероятность того, что в случае обнаружения отказа автоматическими средствами переходит из состояния 1 в состояние 2 восстановления;

$p_{13} = \bar{\alpha}$  — вероятность возникновения скрытого отказа СЧМ вследствие его пропуска автоматическими средствами. Это вероятность перехода системы в состояние обнаружения скрытого отказа человеком;

$p_{21} = 1$  — вероятность того, что после восстановления система всегда переходит в исходное состояние (это принятое в модели допущение справедливо для внезапных отказов системы);

$\rho_{32} = \beta$  — вероятность своевременного (в пределах допустимого времени) обнаружения человеком скрытого одиночного отказа;

$\rho_{34} = \bar{\beta}$  — вероятность перехода системы в опасное состояние;

$\rho_{42} = \bar{\nu}$  — вероятность того, что риск нарушения безопасности системы меньше допустимого;

$\rho_{44} = \nu$  — вероятность возникновения недопустимого риска нарушения безопасности системы, связанного с безопасностью.

Предполагается, что в течение ряда сеансов наблюдений за работой устройств данного типа получены статистические данные о моментах обнаружения их отказов, произведена предварительная статистическая обработка и показана с помощью известного критерия согласованности принадлежность этой выборки данных к одной генеральной совокупности. Итак, зарегистрирована выборка в количестве  $M$  значений  $t_i^* (i = 1 \dots M)$ . Среди этих событий есть некоторая часть  $M_{\text{оп}}$  опасных событий, которые расцениваются как опасные отказы, поскольку часть из них ( $M_p$ ) уже перевели устройство в состояние риска, а для других из этих событий ( $M_{\text{оп}} - M_p$ ) отсутствует возможность устранения или блокирования обнаруженного отказа в течение остаточного времени до наступления опасного события (проезда на запрещенный сигнал, схода с рельс, столкновения и др.).

На основании приведенной исходной информации оценивается вероятность своевременного обнаружения человеком скрытого отказа системы при известном (заданном) допустимом значении  $t_{\text{доп}}$  существования скрытого отказа.

Законы распределения отказов, восстановлений, длительностей обнаружения отказов человеком в данной задаче приняты экспоненциальными с интенсивностями  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$  соответственно. Это позволяет выполнить оценку снизу, т. е. выполнить оценку безопасности системы в условиях существенной неопределенности, присущей простейшим потокам отказов и восстановлений, для которых характерны свойства отсутствия последствия, ординарности и стационарности. Аналогичным образом можно выразить случайное время устранения ущерба (модификация системы в случае неприемлемости ущерба):

$$W(t) = 1 - \exp(-\gamma t) = 1 - e^{-\gamma t}.$$

При выборе теоретического закона распределения времени восстановления человеком можно рассмотреть два возможных случая:

1) единственным источником информации о рассматриваемой случайной величине являются все возможные значения. В этом случае возможно взять любую функцию  $f(t)$ , для которой:



$$\int_{f_n}^{f_k} f(t)dt = 1,$$

и использовать ее в качестве плотности распределения;

2) во втором случае имеются сведения о психофизиологических и других функциональных особенностях рассматриваемого случайного явления, позволяющие выявить, в результате каких процессов появится соответствующее распределение.

В этом случае выбирается или составляется модель хода реальных процессов, приводящих к адекватному распределению.

Поэтому в качестве теоретического распределения восстановления работоспособности СЧМ человеком-оператором целесообразно использовать альфа-распределение, вытекающее из психофизиологической модели деятельности. Аналогично и при устранении ущерба, и модификации системы более приемлемым вместо экспоненциального представляется альфа-распределение, как вытекающее из психофизиологической модели выполнения работ. Причем при восстановлении работоспособности системы оператору приходится выполнять работу случайного объекта, потому что заранее неизвестно, с какими неисправностями технических устройств придется иметь дело. Здесь также имеет место унимодальное асимметричное распределение времени выполнения работы, сходное с альфа-распределением, поэтому можно использовать эквивалентное альфа-распределение.

Определим математические ожидания времени пребывания устройства в каждом состоянии графа (рис. 7.1).

$$T_1 = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t) dt = \frac{1}{\lambda}. \quad T_2 = \int_0^{\infty} \exp(-\mu t) dt = \frac{1}{\mu}.$$

Математическое ожидание времени пребывания устройства в состоянии «3» обнаружения отказа не человеком ограничено допустимым временем обнаружения отказа  $t_{\text{доп}}$ . Следовательно,

$$T_3 = \int_0^{t_{\text{доп}}} \exp(-\gamma t) dt = \frac{1 - \exp(-\gamma t_{\text{доп}})}{\gamma}.$$

Авторы работы [14] принимают, что значение допустимого времени обнаружения отказа находится на уровне 0,1 ч, что означает выполнение условия  $\gamma t_{\text{доп}} \ll 1$ . Данное условие позволяет разложить экспоненту в ряд

и с погрешностью, не превышающей первого порядка малости, ограничиться первыми двумя ее членами, т. е.

$$\exp(-\gamma t_{\text{доп}}) \approx 1 - \gamma t_{\text{доп}}.$$

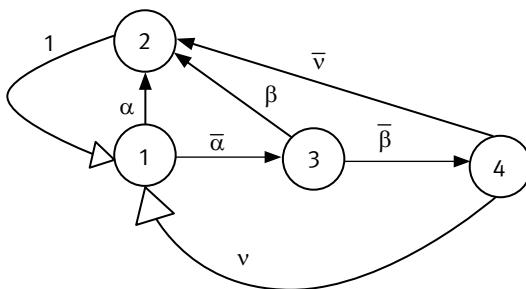


Рис. 7.1. Граф исследования функциональной безопасности системы «человек-машина»

Следовательно, выражение преобразуется к виду:

$$T_3 = \frac{1 - \exp(-\gamma t_{\text{доп}})}{\gamma} = \frac{1 - 1 + \gamma t_{\text{доп}}}{\gamma} = t_{\text{доп}}.$$

Представленные выше сведения позволяют конкретизировать формульное выражение вероятности своевременного обнаружения скрытого отказа системы человеком-оператором. В этой формуле статистическая оценка интенсивности и обнаружения отказа может быть получена в виде

$$\hat{\gamma} \approx \frac{1}{\hat{t}_{\text{обн}}} = \frac{M - M_p}{\sum_{i=1}^{M-M_p} (t_i^* - \hat{t}_i)},$$

а вероятность  $P\{\hat{t}_{\text{обн}} \leq t_{\text{доп}}\} = \int_0^{t_{\text{доп}}} \hat{\gamma} \exp(-\hat{\gamma} t) dt = 1 - \hat{\gamma} t_{\text{доп}}.$

Следовательно,

$$\beta = \frac{M - M_{\text{оп}}}{M} (1 - \hat{\gamma} t_{\text{доп}}) \text{ и } \bar{\beta} = 1 - \beta = 1 - \frac{M - M_{\text{оп}}}{M} (1 - \hat{\gamma} t_{\text{доп}}).$$

Математическое ожидание времени устранения ущерба  $T_4$  в случае, если ущерб меньше допустимого уровня, т. е. при  $\bar{v} = P(R \leq R_{\text{доп}})$  равен нулю.

В случае же, если ущерб больше допустимого уровня, т. е. при  $v = P(R > R_{\text{доп}})$ :

$$T_4 = v \int_0^{\infty} \exp(-9t) dt = \frac{v}{9},$$

где  $0 < v < 1$ .

Коэффициент безопасности  $K_B$  определяется в виде суммы стационарных вероятностей пребывания устройства во множестве неопасных состояний  $\bar{S}_{\text{оп}} = \{1, 2, 3\}$ :

$$K_B = \frac{T_1 + (\alpha + \bar{\alpha}\beta + \bar{\alpha}\beta v)T_2 + \bar{\alpha}T_3}{T_1 + (\alpha + \bar{\alpha}\beta + \bar{\alpha}\beta v)T_2 + \bar{\alpha}T_3 + \alpha\beta T_4} = \frac{\frac{1}{\lambda} + (1 - \bar{\alpha}\beta v)\frac{1}{\mu} + \bar{\alpha}t_{\text{доп}}}{\frac{1}{\lambda} + (1 - \bar{\alpha}\beta v)\frac{1}{\mu} + \bar{\alpha}t_{\text{доп}} + \bar{\alpha}\beta \frac{v}{9}}.$$

Закljučая этот раздел необходимо остановиться на еще одной важной инженерно-психологической проблеме, связанной с надежностью эргатических систем.

В некоторых случаях, когда оператор страхует автомат на случай его отказа, надежность системы управления условно может быть представлена в виде суммы надежности автомата и *готовности человека к включению в активное управление*. Очевидно, что так может рассматриваться надежность системы только в отношении тех функций автоматизации, которые способен удовлетворительно выполнять человек, в отношении остальных функций надежность системы эквивалента надежности автомата. В данном случае мы не касаемся случаев принятия решений в сложной обстановке, являющихся в настоящее время исключительной прерогативой человека.

Поскольку мы выделили функции, присильные и для человека, и для автомата, то условно отождествим понятия его *надежности* и *готовности*. Подробно эту проблему обсудим в главе 13.

### 7.3. Психологические механизмы надежности человека-оператора

Рассмотренные нами ошибки оператора носят статистический характер, и на этом основаны определенные выше показатели надежности человека-оператора. Но это не означает беспричинность ошибок, поэтому изучение психологических и психофизических механизмов надежности оператора представляется исключительно важной задачей инженерной психологии.

В отечественной инженерной психологии всегда делается упор на сознательную активность человека в процессе осуществления им профессиональной деятельности, которая может иметь целый ряд аспектов своего изучения и концептуального моделирования. Одной из моделей, отражающей информационный аспект саморегулирования, т. е. процесса, в ходе которого осуществляется подчиненное определенным закономерностям взаимодействие представленных в сознании человека информационных образований, является модель саморегуляции деятельности О. А. Конопкина. Эта модель использовалась при анализе и изучении различных сторон деятельности машинистов [6].

С позиции когнитивной психологии рассматривает психологические причины Д. Норман. Он характеризует «рабочие срывы» с помощью их предполагаемых источников. Группы «рабочих срывов» основаны на модели, названной системой активационно-триггерных схем (АТС), согласно которой последовательности действий контролируются схемами, представляющими собой сенсомоторные познавательные структуры. Работа этой модели основана на активации и выборе таких схем; в ней используется триггерный механизм, срабатывающий при определенных условиях. Любая задача моделируется как иерархия схем. Материнская схема самого высокого уровня эквивалентна понятию цели. Последовательность действий определяется материнской схемой, которая управляет активностью путем включения подсхем; последние контролируют составные элементы последовательности действий и называются дочерними схемами. Моделирование действия по этому принципу создает многочисленные возможности совершения ошибок в последовательности действий. Ошибки могут совершаться как при выборе намерения, так и в спецификации элементов. Схемы могут быть запущены не в том порядке, пропущены или заменены неподходящими схемами. Предполагая существование этих источников ошибок, Норман выделил 3 основных типа срывов:

1. *Срывы как результат ошибок при формировании намерения.* Сюда относятся ошибки, допущенные при выработке решения и при решении задач.

2. *Срывы как результат неправильной активации схем.* Сюда относятся забывание намерения, нарушение последовательности действий, пропуски этапов или их повторение при выполнении последовательности действий.

3. *Срывы, связанные с ошибочным запуском активной схемы.* Подразумевается запуск схемы не вовремя, смешивание элементов, заимствованных из конкурирующих схем, невозможность запуска из-за отсутствия подходящих условий срабатывания триггерного механизма.

Суэйн считает, что классификация, по Норману, подходит для теоретического анализа причин, вызывающих ошибки человека-оператора, однако для анализа его надежности эта классификация непригодна. Метод Нормана основан на активационно-триггерных схемах, без которых он теряет смысл, и чтобы специалисты, изучающие надежность человека, могли пользоваться классификацией Нормана, они должны придерживаться АТС-модели. Однако это практически, по его мнению, невозможно из-за противоречивых взглядов психологов на поведение человека. С этими положениями Суэйна нельзя согласиться. Действительно, крупнейший теоретик и один из основателей когнитивной психологии Д. Норман стоит на других концептуальных психологических позициях, чем бихевиорист Суэйн, этих позиций придерживается и автор этой книги. Ценность той или иной теории определяется прежде всего тем, насколько точно и полно она может объяснить психологическую реальность, в нашем случае изучение природы ошибки человека с точки зрения ее психологических позиций. Поэтому нельзя согласиться и со вторым аргументом Суэйна против подхода Д. Нормана, который гласит, что «такое изучение и последующий анализ неразумно проводить исследователю, не имеющему достаточно опыта в когнитивной психологии».

В этой связи остается только пожелать такому исследователю приобрести соответствующие знания и опыт в этом важнейшем направлении современной психологии.

Видимо, понимая шаткость этих доводов, Суэйн приводит самый важный аргумент против подхода Д. Нормана и его классификации — тот факт, что отдельная ошибка человека, которая нарушает работу системы, может быть закономерно квалифицирована в контексте человек-машина как ошибка в выполнении задания (например, при работе с клавиатурой цифрового ввода) по классификации Суэйна и в то же время может быть отнесена к разного рода рабочим срывам в зависимости от того, о чем оператор думал в этот момент. Это влечет за собой разрушение всей системы эмпирически полученных данных. При изучении влияния ошибок человека на работу системы важно знать, ошибки какого рода и как часто совершались. Когда установлено, что в определенной

рабочей ситуации ошибки допускаются слишком часто, можно с помощью психологического моделирования найти пути к их уменьшению.

Здесь можно согласиться с Суэйном. Определенная неоднозначность при квалификации ошибки оператора при производстве им простых перцептивных или моторных операций присутствует у Нормана. Но это неизбежная плата за то, что подход Д. Нормана позволяет анализировать высокие уровни когнитивной деятельности, такие как выработка стратегии, решение проблемы и принятие решений.

Среди причин ошибочных действий Д. Ризон (J. Reason) выделяет два психологических механизма, определяющих вероятность возникновения ошибки. Первый объясняется тем, что люди предпочитают действовать по определенному образцу или шаблону и избегать объяснения способа решения проблемы. Второй механизм заключается в том, что в условиях неопределенности по выбору нужного действия люди выбирают то, которое использовали ранее, особенно если это действие привело к успеху. Эти два механизма называют сопоставлением по подобию и по частоте риска.

В первой главе нами говорилось о технических и технологических достижениях, происходящих на железнодорожном транспорте в последнее время, что несомненно сделало эту сложную социотехническую систему в значительной степени защищенной от единичных отказов (ошибок) по причинам, связанным с деятельностью человека. Однако повышенная автоматизация технологических процессов создает возможности для накопления скрытых для человека отказов или условий их возникновения в самой системе управления, что создает предпосылки к различным и порой катастрофическим происшествиям.

Д. Ризон (J. Reason) предложил модель возникновения и развития таких событий. Он связывает начало последовательности возникновения происшествия с отрицательными последствиями решений по планированию, составлению расписаний, проектированию и т. д. Предложенная им модель определяет человека-оператора в большей мере как звено в цепи предшествующих нарушений, чем «виновника» конкретного нарушения. Иными словами, ошибочные действия человека и профессиональные происшествия могут быть заложены в форме неоптимальных и даже неверных решений на стадиях разработки, создания, экспертизы, обслуживания не только техники, но и всех компонентов системы деятельности (ее организации условий отбора и подготовки специалистов).

Анализ причин ошибочных действий, которые в операторской деятельности объясняются, в конечном счете, нарушением процессов преобразования информации, регулирующей эту деятельность, представлен в обобщенном виде

в работе В. Хаккера. Он отмечает, что это нарушение, а порой и отсутствие регулятивной информации, связаны с подпороговым характером ее подачи, с недостатками в обратной связи для регуляции процессов управления, со слабой дифференциацией между параметрами различных сигналов и т. д.

Среди причин ошибочных действий ряд авторов называют: непреднамеренный пропуск отображенной информации, когда она не учитывается при принятии решения; потерю информации вследствие афферентационной и реафферентационной избыточности, когда, например, при неожиданном изменении условий ошибка возникает из-за того, что объективно имеющаяся информация не используется, а непроверенная информация сохраняется; неправильным построением и реализацией правильных и неправильных программ действий, связанных с пространственными, временными, логическими и другими факторами деятельности, с неадекватностью включенных программ текущим событиям. Здесь особо следует подчеркнуть: чем более автоматизирована деятельность, тем чаще она нарушается при экстренном изменении ее программы.

В качестве причин возникновения ошибочных действий исследователи, придерживающиеся когнитивного направления, рассматривают также следующие факторы: эмоции, связанные с конкретным событием, профессиональной ситуацией, оперативной задачей; неопределенность информации в случае ее недостаточности для оценки ситуации; значимость события.

Известно, что особенности проявления эмоций, степень выраженности и избирательность когнитивных процессов находятся во взаимной зависимости. Так еще классик отечественной психологии Л. С. Выготский указывал на единство аффекта и интеллекта, прежде всего потому что когнитивные процессы и эмоции связаны через поведение субъекта, обусловленное его отношением к стимулам окружающей среды.

В инженерно-психологических исследованиях, проведенных, главным образом, авиационными психологами, доказано, что присутствует жесткая корреляционная зависимость между частотой ошибок и временем выполнения операций поиска и декодирования сигнала; временем реакции для различных видов кодирования сигналов; характером моторной реакции (двигательной или речевой); величины алфавита сигналов и частоты их следования.

Целый ряд особенностей условий деятельности летчика, способствующих возникновению ошибок управления, в определенной мере присутствует и в деятельности машинистов современных электропоездов. К ним можно отнести: *восприятие сигналов в условиях помех, поступление неопределенной, ложной информации, выполнение совмещенных действий при разной степени их приоритетности и т. д.*

В. А. Бодров и В. Я. Орлов [1] справедливо отмечают, что «ошибка является интегральным показателем успешности взаимодействия человека-оператора с системой управления, а ее причины могут быть многообразны и отражать как особенности этого процесса, так и отклонения в требованиях к состоянию, уровню развития, конструктивному соответствию отдельных компонентов деятельности».

#### 7.4. Надежность программного обеспечения автоматизированных транспортных систем

В современных сверхбольших эргатических системах (СБЭС) велико и все возрастает значение не только безотказной работы технических средств, но и работы программ, не имеющих скрытых ошибок. Роль программного обеспечения (ПО) в СБЭС, например в ответственных железнодорожных системах, объясняется увеличением объекта реализуемых функций сложности и требований безопасности.

Обеспечение высокой надежности работы оператора, а следовательно, и всей системы «человек-машина» в настоящее время во многом определяется программным обеспечением (ПО). Поэтому разработка проблемы его надежности и технологической безопасности, понимаемых в контексте устойчивости информационно-управляющих систем к влиянию ошибок обслуживающего персонала, ошибок, допущенных при проектировании и реализации аппаратных и программных средств, составляет существенное условие повышения качества и эффективности транспорта и производства и является одной из важнейших задач современной инженерной психологии и новой научной дисциплины — **когнитивной инженерии**.

Важность проблемы надежности ПО можно проиллюстрировать следующим примером, взятым и цитируемым по [4].

«Самое тщательно спланированное и щедро финансируемое программное обеспечение в мире было разработано для серии полетов на Луну по программе «Аполлон». К работе в двух соперничающих группах были привлечены лучшие программисты страны. Проверка программного обеспечения велась со всей полнотой, которую только могли представить себе специалисты. В общей сложности около 600 млн долларов (в ценах 60-х годов прошлого века. — В. В.) было потрачено на это программное обеспечение. И все-таки почти все крупные неудачи программы «Аполлон», от ложных тревог до реальных неприятностей, были прямым результатом ошибок в программном обеспечении ЭВМ».



В настоящее время ведется поиск новых методов разработки безопасного ПО с целью минимизировать влияние на стоимость конечного продукта следующих факторов: неточное понимание исполнителем требований заказчика, позднее обнаружение ошибок и, как следствие, дорогой процесс внесения изменений; наконец, значительная стоимость сертификации. Стандарты ГОСТ Р/МЭК 61508(ч.3), EN 50128 и IEC 62279 определяют необходимые меры на каждом этапе разработки согласно уровню требований к безопасности. Одним из способов автоматизации некоторых технических приемов, обеспечивающих безопасность, является комплекс SCADE (Safety Critical Application Development Environment) французской фирмы Esterel Technologies [8]. В основе комплекса SCADE лежит создаваемая и проверяемая разработчиком модель, из которой автоматически генерируется исходный код на языке С.

Процесс разработки ПО ответственных систем согласно [11] должен содержать определенные этапы. Стандарты по функциональной безопасности определяют все этапы процесса и их последовательность.

В публикации МЭК (Международная электротехническая Комиссия; англ. International Electrotechnical Commission, IEC) стандарта по безопасности IEC 61508 установлены основные определения и подходы к функциональной безопасности для всех областей применения. В этом документе определена мера целевого показателя отказов (Target Failure Measure = TFM), включающая как случайные, так и систематические отказы. Мера TFM определена в количественном отношении и является эквивалентной уровню полноты безопасности (Safety Integrity Level = SIL).

Стандарты CENELEC (франц. Comit European de Normalisation/Comet European de Normalisation ELECtrotechnique — Европейский комитет по стандартизации и Европейский комитет по электротехническим стандартам), в том числе EN 50128, представляют собой адаптацию стандарта IEC 61508 для железнодорожного транспорта [11]. Причем концепция SIL является объединяющим базовым понятием.

Из результатов анализа на безопасность на уровне системы следует степень требований по безопасности к ПО. Согласно EN 50128 [11] в зависимости от уровня полноты безопасности (SIL 1, 2, 3 или 4) вносятся рекомендации по использованию того или иного технического приема. При этом различают 4 вида рекомендаций по использованию технических приемов:

- обязательно;
- настоятельно рекомендуется;
- рекомендуется;
- не рекомендуется.

Использование при проектировании проверок, автоматизированного контроля комментариев, тестовых программ анализа путей выполнения, документации на псевдокоде, двойного копирования исходного кода, модуляризации и структурной организации логики программы относится к общепринятым способам улучшения поддержания программного обеспечения.

Надежность аппаратуры, как отмечалось выше, может быть оценена количественно в терминах наработки между отказами. Методы подсчета, предложенные для количественной оценки программного обеспечения, аналогичны методам предсказания надежности аппаратного обеспечения. Рассмотрим некоторые из моделей надежности программного обеспечения.

#### 7.4.1. Модели надежности программного обеспечения

В основе модели, предложенной Джелинским и Морандом [10], лежит гипотеза о том, что частота обнаружения ошибок пропорциональна числу ошибок, остающихся в программе. В этой модели предполагается, что время между проявлениями ошибок возрастает экспоненциально и что каждая ошибка немедленно исправляется.

Модель надежности ПО для предсказания средней наработки между отказами, построенная Шуманом [13], основана на следующих предположениях:

1. Общее число ошибок в программе фиксировано, т. е. если в начальный момент компоновки программ в систему ПО в них имеется  $E_0$  ошибок, то в ходе корректировки новые ошибки не выносятся.
2. Если регистрировать суммарное число ошибок, исправленных в процессе отладки, то разность показывает число оставшихся.
3. Интенсивность отказов  $\lambda$  пропорциональна числу ошибок, оставшихся в ней после отладки в течение времени  $\tau$ , т. е.

$$\lambda = [E_0/I - \varepsilon_c(\tau)]C,$$

где  $\varepsilon_c(\tau)$  — отношение числа ошибок, устраненных в течение времени отладки  $\tau$ , к общему числу команд на машинном языке.

$I$  — общее число машинных команд.

Следует отметить, что в модели различаются два значения времени: время отладки  $\tau$  (обычно измеряется месяцами) и время работы программы  $t$  (часы и доли часа). Время отладки включает затраты на выявление ошибок с помощью тестов, контрольные проверки и т. д. Значение  $\lambda$  считают постоянным

в течение всего времени работы  $(0, t)$ . Интенсивность отказов изменяется только при обнаружении и исправлении ошибок (при этом время  $t$  вновь отсчитывается от нуля).

Вероятность  $p(t, \tau)$  отсутствия ошибок программ в течение наработки (времени)  $(0, t)$  вычисляется по следующей формуле:

$$p(t, \tau) = \exp\{-C[E_0 / I - \varepsilon_c(\tau)]t\}.$$

Средняя наработка программы до отказа:

$$m_t = 1 / \lambda = 1 / \{[E_0 / I - \varepsilon_c(\tau)]C\}.$$

Применяя метод моментов и рассматривая два периода отладки программ  $\tau_1$  и  $\tau_2$  при  $\tau_1 < \tau_2$ , получаем:

$$F_0^* = \frac{I[\gamma\varepsilon_c(\tau_1) - \varepsilon_c(\tau_2)]}{\gamma - 1}; \quad \gamma = T_1 n_2 (T_2 n_1);$$

$$C^* = \frac{n_1}{T_1 [E_0^* / I - \varepsilon_c(\tau_1)]},$$

где  $T_1, T_2$  — продолжительности работы системы, соответствующие  $\tau_1$  и  $\tau_2$ ;

$n_1, n_2$  — число ошибок в ПО, обнаруженных соответственно в периодах  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

Можно считать, что модель Джелинского–Моранда является только частным случаем модели Шумана (для случая, когда обнаруженная ошибка сразу удаляется) и что модель Шумана является «общей».

### Оценка надежности программ по числу прогонов (модель Нельсона)

В этой модели за показатель надежности программы принимается вероятность  $R(n)$  безотказного выполнения  $n$  прогонов программы.

Вероятность того, что  $j$ -й прогон закончится отказом,  $Q_j = \sum_{i=1}^N p_{ji} y_i$ , где  $p_{ji}$  — вероятность выбора  $i$ -го набора входных данных при  $j$ -м прогоне из некоторой последовательности прогонов;  $y_i$  — «динамическая переменная», принимающая значение 0, если прогон программы при  $i$ -м наборе входных данных оказывается успешным, и значение 1, если этот прогон заканчивается отказом;  $N$  — число возможных наборов данных.

Для  $n$  прогонов:

$$R(n) = \prod_{j=1}^n (1 - Q_j).$$

На практике надежность программы может быть оценена путем прогона программы на  $n$  наборах входных данных и вычисления значения оценки  $R^* = 1 - n_e/n$ , где  $n_e$  — число наборов входных данных, при которых произошли отказы.

Для получения  $R^*$  находят «функциональный разрез» программы, т. е. множество вероятностей  $p_i$  того, что будет сделан выбор  $i$ -го варианта входных данных. Для этого разбивают все пространство входных переменных на подпространства и находят вероятности того, что выбранный набор входных данных будет принадлежать конкретному подпространству. Это можно сделать, оценивая вероятности появления различных входов в реальных условиях функционирования, для которых оценивается надежность программы.

Далее формируют случайную выборку из  $n$  наборов входных данных, распределенных в соответствии с  $p_i$  (например, с помощью датчика случайных чисел), и проводят  $n$  прогонов программы, находят  $n_e$  и вычисляют  $R^*$ .

Чтобы установить связь между моделями по наработке и по прогонам, запишем

$$\ln R(n) = \sum_{j=1}^n \ln(1 - Q_j)$$

или

$$R(n) = \exp \left[ \sum_{j=1}^n \ln(1 - Q_j) \right].$$

Обозначим  $\Delta t_j$  время выполнения  $j$ -го прогона программы

$$t_j = \sum_{i=1}^j \Delta t_i$$

$t_j$  — суммарное время выполнения первых  $j$  прогонов программы и примем, что

$$\lambda(t_j) = -\ln(1 - Q_j) / \Delta t_j,$$

при этом

$$R(n) = \exp \left[ -\sum_{j=1}^n \Delta t_j \lambda(t_j) \right].$$

При  $Q_j \ll 1$  функция  $\lambda(t_j)$  может рассматриваться как функция интенсивности отказов.

Другим сторонником метода «подсчета ошибок» является Дж. Хансен [13], также рассматривающий надежность программного обеспечения в терминах

средней наработки между отказами (СНМО). Он полагает, что когда некоторый пакет программ первоначально поступает в эксплуатацию, то им пользуется всего несколько человек, что дает небольшое число отказов (и фиктивно высокое значение СНМО). В течение последующих двух-трех лет СНМО слегка возрастает из-за исключения очевидных ошибок. Позднее, с возрастанием числа пользователей и усилением тестирования, СНМО существенно падает. Потом программное обеспечение доводится до совершенства, и СНМО резко улучшается. Хансен дает следующую формулу для СНМО:

$$\text{СНМО} = ((N) + (N - 1) + \dots + (N - I))C/M,$$

где  $N$  — число копий программного продукта, используемых в данном году;

$M$  — число ошибок, замеченных в данном году;

$C$  — приблизительное число часов, в течение которых данный продукт использовался в данном году;

$I$  — число лет использования.

Как и Шуман, Хансен считает, что объем и сложность программы сильно влияют на СНМО.

Одним из сторонников «подсчета ошибок», утверждающих, что средняя наработка до отказа «позволяет получить удобную оценку», является Мьюз [10]. Он утверждает, что можно построить более хорошую модель, чем модели Желлинского–Моранда и Шумана, если (при предсказании оценки СНМО) сначала рассуждать в терминах времени исполнения, а не потраченного времени, а затем попытаться связать время исполнения с календарным временем. Парр, разбирая различные методы подсчета ошибок, отмечает, что теория Мьюза применялась к проектам, варьирующимся от 3 до 300 исполнителей и от 5000 до 20000 строк кода и предназначенным для таких применений, как системы управления в реальном времени, системы делового учета и системы, содержащие большие базы данных.

### **Другие вероятностные модели**

Кроме обсуждавшийся в предыдущем разделе модели Шумана, было построено несколько других. Предлагалась байесова модель, учитывающая возможность того, что функция риска  $z(t)$  может не уменьшаться при каждом исправлении ошибки из-за возможного внесения при этом новых ошибок. Шнейдевинд [10] отказывается от предположения, что исправления выполняются сразу после обнаружения, и предлагает модель, в которой распределение исправлений пропорционально распределению обнаружений ошибок, но отстает по времени.

Литтлвуд [10] также критически относится к методам подсчета ошибок, полагая допущения Шумана наивными. Литтлвуд сообщает, что ему никогда не приходилось видеть программу, в которой частота сбоев программного обеспечения была бы пропорциональна числу оставшихся ошибок. Он считает, что нужно измерять операционную надежность, исправления предполагать происходящими мгновенно и учитывать только время исполнения. Он обращает внимание на то, что программное обеспечение не подвержено естественной порче и что если оно безупречно, то не дает сбоев и СНМО бесконечно.

Литтлвуд в качестве критической оценки принимает частоту сбоев и моделирует процесс повышения надежности с помощью метода Байеса. Он утверждает, что его собственная модель является гибкой и позволяет точно вычислить распределение времени до отказа, но признает, что может быть много разных способов оценивания надежности. Свой выбор метода Байеса он объясняет тем, что субъективная интерпретация вероятности более приемлема для программного обеспечения, чем «частотный подход», и что теорема Байеса позволяет непрерывно обновлять оценки надежности с поступлением новых данных. Литтлвуд также считает, что программа может ухудшаться со временем, если сбои достаточно часты. Он соглашается с предположением, что никогда обнаружение первой ошибки не дает большей уверенности в надежности программы, чем обнаружение «последней» ошибки.

Вероятно, самый простой метод оценки числа ошибок — строить оценки, основываясь на исторических данных, в частности на среднем числе ошибок, приходящемся на один оператор в предыдущих проектах. В литературе сведения о частоте ошибок программистов довольно немногочисленны, но на основании имеющихся данных представляется, что в среднем по «отрасли» на каждую тысячу операторов программы после автономного тестирования остается примерно 10 ошибок.

### **Статистическая модель Миллса**

Модель совершенно другого типа разработал Миллс [13]. В ней не используется никаких предположений о поведении функции риска  $z(t)$ , эта модель строится на твердом статистическом фундаменте. Сначала программа «засоряется» некоторым количеством известных ошибок. Эти ошибки вносятся в программу случайным образом, а затем делается предположение, что для ее собственных и внесенных ошибок вероятность обнаружения при последующем тестировании одинакова и зависит только от их количества. Тестируя программу в течение некоторого времени и отсортировывая собственные и внесенные ошибки, можно оценить  $N$  — первоначальное число ошибок в программе.

Предположим, что в программу было внесено  $s$  ошибок, после чего разрешено начать тестирование. Пусть при тестировании обнаружено  $n + v$  ошибок, причем  $n$  — число найденных собственных ошибок, а  $v$  — число найденных внесенных ошибок. Тогда оценка для  $N$  по методу максимального правдоподобия будет такой:

$$N = \frac{sn}{v}.$$

Вторая часть модели связана с выдвижением и проверкой гипотез об  $N$ . Примем, что в программе имеется более  $k$  собственных ошибок, и внесем в нее еще  $s$  ошибок. Теперь программа тестируется, пока не будут обнаружены все внесенные ошибки, причем в этот момент подсчитывается число обнаруженных собственных ошибок (обозначим его  $n$ ). Уровень значимости  $C$  вычисляется по следующей формуле:

$$C = \begin{cases} 1 & \text{при } n > k, \\ \frac{s}{s+k+1} & \text{при } n \leq k. \end{cases}$$

Величина  $C$  является мерой доверия к модели; это вероятность того, что модель будет правильно отклонять ложное предположение.

Эти две формулы для  $N$  и  $C$  образуют полезную модель ошибок; первая предсказывает число ошибок, а вторая может использоваться для установления доверительного уровня прогноза. Слабость этой формулы в том, что  $C$  нельзя предсказать до тех пор, пока не будут обнаружены все внесенные ошибки (а это, конечно, может не произойти до самого конца этапа тестирования). Чтобы справиться с этой трудностью, можно модифицировать формулу для  $C$  так, чтобы  $C$  можно было оценить после того, как найдено  $j$  внесенных ошибок ( $j \leq s$ ):

$$C = \begin{cases} 1 & \text{при } n > k, \\ \left( \frac{s}{j-1} \right) / \left( \frac{s+k+1}{k+j} \right) & \text{при } n \leq k. \end{cases}$$

Модель Миллса одновременно математически проста и интуитивно привлекательна. Легко представить себе программу внесения ошибок, которая случайным образом выбирает модуль, вносит логическую ошибку, изменяя или убирая операторы, и затем заново его компилирует. Природа внесенной ошибки должна сохраняться в тайне, но все их следует регистрировать, чтобы впоследствии можно было разделять ошибки на собственные и внесенные.

Процесс внесения ошибок является самым слабым методом модели, поскольку предполагается, что для собственных и внесенных ошибок вероятность обнаружения одинакова (но неизвестна). Из этого следует, что внесенные ошибки должны быть «типичными» образцами ошибок, но мы еще недостаточно хорошо понимаем программирование, чтобы сказать, какими именно должны быть типичные ошибки. Однако по сравнению с проблемами, стоящими перед другими моделями надежности, эта проблема кажется относительно несложной и вполне разрешимой. Наконец, отметим еще одно достоинство внесения ошибок: оно может оказывать положительное психологическое влияние на группу тестирования. У программистов возникают затруднения при отладке своих программ, например, потому что они склонны считать каждую обнаруженную ошибку последней. Внесение ошибок может помочь в этом деле, поскольку теперь программист знает, что в его программе есть еще не обнаруженные ошибки.

Резюмируя вышеизложенное по проблеме надежности ПО, можно высказать следующие соображения.

1. Имеется очень много литературы, связанной с надежностью и моделями надежности, но нет пока единообразного, точного и практичного подхода к предсказанию и оценке надежности.

2. Нужны дальнейшие исследования для сбора данных об ошибках программного обеспечения и для анализа их с целью усовершенствования методов предсказания и оценки надежности.

3. Требуются более качественные модели, основанные на данных о производительности и различающие программы и среды программирования.

Из-за неопределенностей во всех обсуждавшихся моделях пока самый разумный подход — воспользоваться несколькими моделями сразу и объединить их результаты. Данные по прежним проектам можно использовать для грубой оценки числа ошибок в сегодняшних проектах. Затем может быть применена приведенная выше формула для  $N$ , для этого нужно вручную внести в программу ошибки и затем оценить общее число ошибок и уровень достоверности по модели Миллса. Для получения четвертого прогноза можно воспользоваться также моделью Джелински, Моранды и Шумана.

Миллс предлагает во время всего периода тестирования отмечать на графике число найденных ошибок и текущие оценки для  $N$ .

Еще один график, который полезно строить во время тестирования, — текущее значение верхней границы  $k$  для некоторого фиксированного доверительного уровня, например 90%.

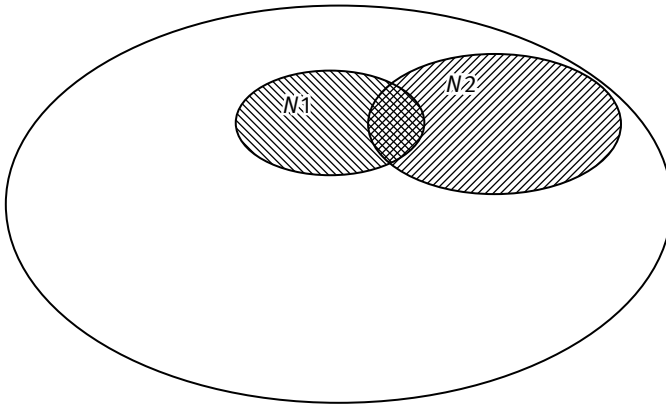


### Простые интуитивные модели

В поисках средств прогнозирования надежности программного обеспечения было разработано и несколько чрезвычайно простых моделей для оценки числа ошибок. Из-за их простоты им часто уделяется недостаточно внимания, но они основаны на более слабых предположениях, чем сложные модели, и могут оказаться очень полезными, считает Майерс [4].

Один простой метод предлагает начинать тестирование двумя совершенно независимыми группами (или двумя сотрудниками — в зависимости от размеров проекта), в течение некоторого времени позволяя тестировать систему параллельно, а затем их результаты собирают и сравнивают. Обозначим через  $N_1$  и  $N_2$  число ошибок, обнаруженных каждой из групп соответственно, а через  $N$ , обнаруженных дважды (т. е. обеими группами).

Пусть  $N$  обозначает неизвестное полное число ошибок в программе. Можно установить эффективность тестирования каждой из групп:  $E_1 = N_1/N$ ,  $E_2 = N_2/N$ . Предполагая, что возможность обнаружения для всех ошибок одинакова (серьезное предположение, но не лишенное смысла), можно рассматривать каждое подмножество пространства  $N$  как аппроксимацию всего пространства.



Если первая группа обнаружила 10 % всех ошибок, она должна была найти примерно 10 % всякого случайным образом выбранного подмножества, например подмножества  $N_2$ . В этом случае можно сказать, что  $E_1 = (N_1/N) = (N_{12}/N_2)$ . Выполняя подстановку для  $N_2$ , получаем  $E_1 = N_{12}/(E_2 \times N)$ , или  $N = \frac{N_{12}}{E_1 \times E_2}$ ;  $N_{12}$  известно, а  $E_1$  и  $E_2$  можно оценить как  $N_{12}/N_2$  и  $N_{12}/N_1$  соответственно, откуда мы получаем приближение для  $N$ .

Наконец, как о перспективном направлении, следует сказать о попытках моделировать сложность программы, опираясь на свойства ее текста. Было

предложено несколько моделей, основанных на предположении, что сложность понимания каждого конкретного участка программы пропорциональна числу понятий, активных на этом участке. Предложено измерять эту сложность, опираясь на представление структуры управления и структуры данных программы в виде ориентированного графа.

#### *7.4.2. Природа ошибок при проектировании ПО и их устранение*

Одной из причин возникновения ошибок в процессе разработки ПО является неприменение разработанных общих психологических принципов решения задач. На это указывает Майерс [4], рекомендуя известный метод Пойя [7] в качестве этапов решения проблем проектирования ПО. Аналогичной точки зрения придерживается и Б. Шнейдерман [9].

Другой причиной ошибок при разработке ПО является разное понимание принципов и методов проектирования и программирования модулей архитектором ПО и программистами. В результате возникают лишние функции.

Но самые первые ошибки возникают уже тогда, когда определяются требования и цели, прежде всего потому, что неправильно понимаются потребности пользователя. Эти ошибки в дальнейшем порождают другие, когда требования и цели транслируются во внешние спецификации. Две самые распространенные ошибки при работе над программными проектами — это отказ от вовлечения пользователя системы в процесс принятия решений и неспособность понять его культурный уровень и окружающую обстановку.

Привлечение пользователей желательно, как отмечал Майерс, и на стадии тестирования, учитывая его компетентность в проектировании внешних характеристик системы. Но этого не следует делать, т. е. привлекать пользователя к такой работе, как анализ логики конкретного модуля, т. е. там, где необходимо обсуждение деталей, в которых пользователь некомпетентен.

Во многом устранение ошибок возможно лишь на этапе верификации, который из-за этого является самым трудоемким. В работе [8] показано, что современные модельно-ориентированные технологии разработки безопасного программного обеспечения железнодорожных систем безопасности позволяют всю верификацию вплоть до интеграционного тестирования проводить на уровне SCAD модели. Для пояснения воспроизведен рис. 7.2, взятый нами из этой работы, где в наглядной форме представлены основные этапы жизненного цикла ПО.

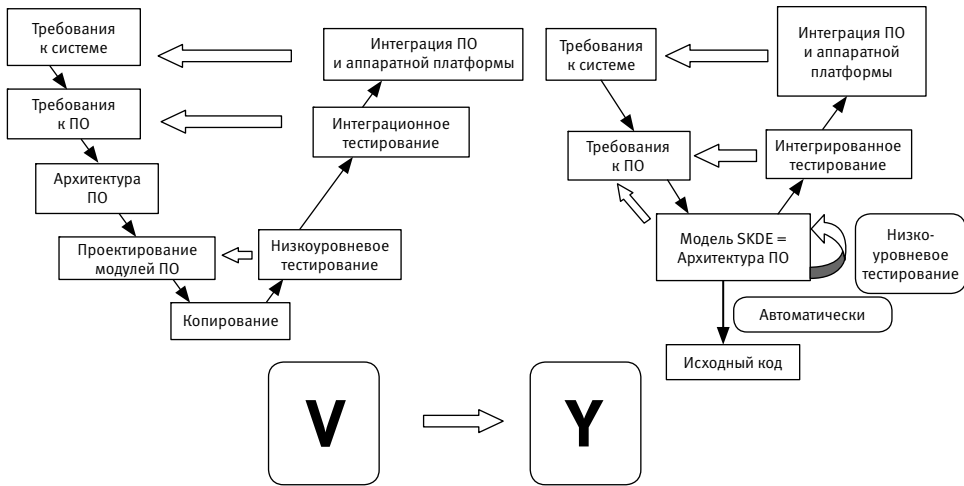


Рис. 7.2. Y-образная модель жизненного цикла ПО

Как видно из рисунка, упрощенная V-образная модель жизненного цикла ПО (более подробная модель приведена в монографии Майерса) превращается в Y-образную модель.

В целом модельно-ориентированный метод с применением SCADe открывает новую страницу инженерно-психологических исследований, связанных с формализацией текстовой спецификации, т. е. переходом с естественного на формальный язык с его однозначностью трактовки. Схема перехода от текстовой спецификации к исходному коду на языке C предусматривает промежуточное звено — формальный язык Lustze. Графически последний реализуется в виде SCADe модели, которая позволяет в наглядной форме представлять лингвистические конструкции текстовых спецификаций.

На основании применения кодогенератора SCLDE Suite при проектировании ПО для систем управления и технических устройств безопасности железнодорожного транспорта авторы работы [8] делают следующие выводы.

С помощью модельно-ориентированного подхода удастся значительно снизить затраты на разработку и сопровождение ПО прежде всего за счет эффективной организации самого трудоемкого этапа — верификации. Применение SCADe позволяет по сравнению с ручным кодированием снизить затраты на всем жизненном цикле ПО не менее чем на 40 %. Эта экономия складывается из следующих факторов:

- разработка детальной спецификации, определение архитектуры ПО и верификация проходят на уровне модели, которая одновременно является формализацией технического задания;

- ручное кодирование заменено кодогенератором с автоматической верификацией кода, что позволяет проводить модульное и интегральное тестирование на уровне модели;
- автоматизация написания значительной части проектной документации позволила снизить затраты на сертификацию, особенно на этапе внесения изменений.

Следует также отметить, что применение модельно-ориентированного подхода повышает надежность создаваемого ПО.

Заключая этот раздел, отметим, что развитие методов оценки надежности и технологической безопасности управляющего программного обеспечения автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте — актуальнейшая проблема когнитивной инженерии. Актуальность ее объясняется, как справедливо отмечают авторы работы [2], необходимостью комплексного исследования качества функционирования ПО информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте с позиций обеспечения надежности и устойчивости функционирования, а также технологической безопасности.

## Контрольные вопросы

1. Назовите основные положения теории технической надежности.
2. Как осуществляется применение методов технической надежности к человеку-оператору?
3. Дайте классификацию ошибок человека-оператора.
4. Можно ли рассматривать оператора как компонента системы, способствующего повышению ее надежности?
5. В чем заключаются психологические механизмы надежности человека-оператора?
6. Назовите основные модели надежности программного обеспечения.
7. В чем заключаются природа ошибок при проектировании ПО?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Бодров В. А. Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В. А. Бодров, В. Я. Орлов. — М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. — 288 с.
2. Бутакова М. А. Методы оценки надежности и технологической безопасности управляющего программного обеспечения автоматизированных систем управления на же-

- лезнодорожном транспорте / М. А. Бутакова, А. Н. Гуда, В. С. Гнаденберг // Вестник РГУПС. — 2011. — № 3. — С. 20–30.
3. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
  4. Майерс Г. Надежность программного обеспечения / Г. Майерс. — М., 1980. — С. 359.
  5. Миллер Д. Ошибки человека и его надежность / Д. Миллер, А. Суэйн ; под ред. Г. Салвенди // Человеческий фактор. — М. : Мир, 1991. — Т. 1. — С. 360–417.
  6. Нерсисян Л. С. Инженерная психология и проблема надежности машиниста / Л. С. Нерсисян, О. А. Конопкин. — М., 1978. — С. 239.
  7. Пойа Д. Как решать задачу : пер. с англ./ Д. Пойа ; под ред. Ю. М. Гайдука. — М., 1961. — С. 207.
  8. Шлигерский А. Модельно-ориентированная технология разработки безопасного программного обеспечения железнодорожных систем безопасности с применением инструментального комплекса SCADE / А. Шлигерский, В. И. Уманский // Надежность. — 2010. — № 3. — С. 13–21.
  9. Шнейдерман Б. Психология программирования / Б. Шнейдерманг. — М., 1984. — С. 304.
  10. Musa J. D. A theory of software reliability and its application, IEEE Transactions on Software Engineering, SE-1, 3 (September 1975) / J. D. Musa. — P. 312–327.
  11. EN 50128. Railway applications — Communications, signaling and processing systems. CENELEC, May 2001.
  12. Reason J. A. Human error. N. J. Cambridge University Press / J. A. Reason. — 1990.
  13. Schick G. J. An analysis of competing software reliability models, IEEE Transactions on Software Engineering, SE-4, 2. (March 1978) / G. J. Schick, R. W. Wolvertон. P. 104–120.
  14. Гапанович В. А. Модель функциональной безопасности технического устройства с учетом скрытых отказов / В. А. Гапанович, И. Н. Розенберг, И. Б. Шубинский // Надежность. — 2010. — № 3. — С. 2–12.
  15. Котик М. А. Краткий курс инженерной психологии / М. А. Котик. — Тарту, 1978.
  16. Никифоров Б. Д. Обеспечение высокой надежности и полноты безопасности локомотивных систем управления / Б. Д. Никифоров // Вестник ВНИИЖТ. — 2010. — № 3. — С. 3–9.
  17. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — С. 480.

## Глава 8

# Эргономическая система. Средства и системы отображения информации

Внедрение систем дистанционного контроля и управления привело к тому, что средства отображения информации стали использовать в качестве единственного источника информации об управляемом объекте, рабочем процессе и о состоянии самой системы дистанционного управления или системы «человек-машина». Операторы таких систем действуют не с реальными объектами, а с их заместителями или имитирующими их образами, т. е. с информационными моделями реальных объектов. В эргономике принято, что информационная модель есть организованная в соответствии с определенной системой правил совокупность информации о состоянии и функционировании объекта управления и внешней среды. Она является для оператора источником информации, на основе которого он формирует образ реальной обстановки, производит анализ и оценку сложившейся ситуации, планирует управляющие воздействия, принимает решения, обеспечивающие правильную работу системы и выполнение возложенных на нее задач, а также наблюдает и оценивает результаты их реализации. Физически информационная модель реализуется с помощью разнообразных средств отображения информации.

### 8.1. Классификация электронных средств отображения визуальной информации

Существует достаточно большое число признаков классификации электронных средств отображения визуальной информации (ЭСОВИ).

Рассмотрим основные из этих признаков.

**1. По назначению** различают следующие категории средств отображения визуальной информации:

*Мнемосхемы* — представляют собой графическо-условное изображение взаимосвязи технических систем, на котором методом подсветки отображается состояние станционной инфраструктуры, технологический процесс различных производств, состояние включенных управляющих устройств. Такие ЭСО-ВИ обладают высокой наглядностью, воспроизводят как статическую, так и динамическую информацию.

Мнемосхемы представляют средства отображения информации, условно показывающие структуру и динамику управляемого объекта и алгоритма управления. Мнемосхемы предназначены для выполнения следующих функций:

- наглядно отображать функционально-техническую схему управляемого объекта и информацию о его состоянии в объеме, необходимом для выполнения оператором возложенных на него функций;
- отображать связи и характер взаимодействия управляемого объекта с другими объектами и внешней средой;
- сигнализировать обо всех существенных нарушениях в работе объекта;
- обеспечивать быстрое выявление возможности локализации и ликвидации неисправности.

Мнемосхема должна содержать только те элементы, которые необходимы оператору для контроля и управления объектом. Отдельные элементы или группы элементов, наиболее существенные для контроля и управления объектом, на мнемосхеме должны выделяться размерами, формой, цветом или другими способами. Допускается выделение составных частей управляемого объекта, имеющих автономное управление.

При компоновке мнемосхемы должно быть обеспечено пространственное соответствие между расположением элементов на мнемосхеме и расположением управления на пульте оператора.

Допускается размещение на поле мнемосхемы приборов контроля и органов управления, которые при этом не должны закрывать от оператора другие элементы мнемосхемы.

При компоновке мнемосхем должны учитываться привычные ассоциации оператора. Под привычной ассоциацией понимают связь между представлениями, возникающими у человека на основе прошлого опыта. Например, человек привык отображать какой-либо процесс, представляя его развитие слева направо. При компоновке мнемосхемы следует учитывать это привычное представление и отображать развитие технологического процесса тоже слева направо.

Соединительные линии на мнемосхеме должны быть сплошными, простой конфигурации, минимальной длины и иметь наименьшее число пересечений. Следует избегать большого числа параллельных линий, расположенных рядом.

Форма и размеры панелей мнемосхем должны обеспечивать оператору однозначное зрительное восприятие всех необходимых ему информационных элементов. Предельными углами обзора фронтальной плоскости мнемосхемы должны быть: по вертикали не более  $90^\circ$ , по горизонтали не более  $90^\circ$  (по  $45^\circ$  в каждую сторону от нормали к плоскости мнемосхемы).

Если мнемосхема выходит за пределы зоны, ограничиваемой предельными углами обзора, она должна иметь дугообразную форму или состоять из нескольких плоскостей (состыкованных или пространственно разнесенных), повернутых к оператору.

Комплекс мнемознаков, используемых на одной мнемосхеме должен быть разработан как единый алфавит. Под единым алфавитом понимают комплекс мнемознаков, отображающих систему взаимосвязанных частей управляемого объекта и характеризующихся единством изобразительного решения. Необходимо, чтобы алфавит мнемознаков был максимально коротким, а различительные признаки мнемознаков были четкими.

Мнемознаки сходных по функциям объектов должны быть максимально унифицированы. Форма мнемознака должна соответствовать основным функциональным или технологическим признакам отображаемого объекта. Допускается брать за основу конструктивную форму объекта или его условное обозначение, принятое в технической документации.

Размеры мнемознака должны обеспечивать оператору наиболее однозначное зрительное восприятие. Угловые размеры мнемознака простой конфигурации должны быть не менее  $20'$ . Угловые размеры мнемознака определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{2l},$$

где  $\alpha$  — угловой размер мнемознака;

$S$  — линейный размер мнемознака;

$l$  — расстояние от мнемознака по линии зора.

Угловые размеры сложного мнемознака (с наружными и внутренними деталями) должны быть не менее  $35$  угл./мин, а угловой размер наименьшей детали — не менее  $6$  угл./мин.

Вспомогательные элементы и линии не должны пересекать контур мнемознака или каким-либо другим способом затруднять его чтение. Яркостный контраст между мнемознаками и фоном мнемосхемы должен быть не менее  $65\%$ . Значения яркостного контраста ( $K$ ) в процентах вычисляют по формулам:



$$K = \frac{B_{\Phi} - B_0}{B_{\Phi}} 100;$$

при обратном контрасте (мнемознак светлее фона):

$$K = \frac{B_0 - B_{\Phi}}{B_0} 100,$$

где  $K$  — яркостный контраст;

$B_0$  — яркость мнемознака;

$B_{\Phi}$  — яркость фона мнемосхемы.

Сигналы об изменениях состояния объекта (включен — отключен, открыт — закрыт) должны различаться особенно четко цветом, формой или другими признаками. Специальные сигналы (предупредительные, аварийные, неплановой смены состояния и т. п.) должны отличаться большей интенсивностью (на 30–40 %) по сравнению с сигналами нормального режима или быть прерывистыми (с частотой мигания 3–5 Гц и длительностью сигнала не менее 0,05 с). Допускается совместное применение обоих способов.

*Фиксированные надписи* — представляют собой фиксированную надпись, которая подсвечивается при срабатывании определенного датчика.

*Одноразрядные цифровые или буквенно-цифровые индикаторы*, отображающие одно знакоместо. Такие индикаторы применяются в различных приборах для визуализации какого-то параметра, например температуры.

*Многоразрядные цифровые или буквенно-цифровые индикаторы*, содержащие множество фиксированных знакомест в одной или нескольких текстовых строках. Такие индикаторы широко применяются в различных электронных приборах для визуализации какого-то параметра.

*Шкальные (аналоговые или цифровые) индикаторы*, предназначенные для отображения информации в виде светящейся точки или светящегося столбика с положением или высотой, меняющимися в зависимости от входного сигнала. Такие индикаторы широко используются для приблизительной оценки уровня измеряемого параметра, например, для визуализации напряжения электрической сети в заданных границах.

*Экраны (или информационные панели)* — представляют собой индикаторы с большой информационной емкостью элементов отображения, не содержащие фиксированных знакомест. Такие экраны широко используются для отображения цифровой, буквенной или графической информации о состоянии технических систем, например времени, температуры, метеоусловий и т. п.

Для повышения информационной емкости на таких экранах широко применяется «бегущая строка», что позволяет не ограничивать объем выводимой видимой информации.

*Дисплеи (мониторы)* — это общее название устройства, показывающего, отображающего информацию обычно для индивидуального пользователя.

**2. По виду элементов отображения информации** различают следующие категории устройств отображения видимой информации:

*Знакомоделирующие ЭСОВИ* — в таких устройствах элементы отображения информации выполняются в виде набора готовых знаков (цифр или букв), причем знаки, отображаемые с помощью знакомоделирующих ЭСОВИ, имеют более привычные для глаза начертания, чем в случае знаковсинтезирующих ЭСОВИ. В то же время элементы отображения информации в знакомоделирующих ЭСОВИ обязательно должны быть расположены в различных плоскостях, что приводит к их взаимной экранировке (визуальному затемнению). Примером таких устройств может служить газоразрядные цифровые индикаторы типа ИН-15. Недостатком таких устройств также является очень ограниченный набор символов (обычно не более 10).

*Знакосинтезирующие ЭСОВИ* могут выполняться как *матричные* с точечными элементами отображения информации в местах пересечения электродов строк и столбцов, *мозаичные* (каждый элемент отображения информации может включаться или выключаться независимо), или *сегментные*, элементы отображения информации которых представляют собой полоски (сегменты), сгруппированные в знакоместа. В знаковсинтезирующих индикаторах ЭСОВИ изображение создается из элементов, расположенных в одной плоскости, и угол обзора больше, однако электронные схемы для формирования из таких элементов отображения информации знаков зачастую сложнее, чем в знакомоделирующих ЭСОВИ.

*Графические ЭСОВИ* — в них изображение формируется путем «рисования» графического объекта электронным лучом (электронно-лучевые трубки) или специальными электронными схемами (жидкокристаллические ЭСОВИ). Графические ЭСОВИ, в свою очередь бывают: функциональными (векторными) или *растровыми*. Функциональный метод предусматривает построение информационных образов (символьных или графических) путем произвольного отклонения электронного луча. При растровом методе подсветка элементов изображения осуществляется в определенные моменты времени синхронно с постоянной разверткой электронного луча по экрану.

**3. По конструкции** различают следующие категории устройств отображения видимой информации:

*Одноразрядные дискретные индикаторы*, которые формируют отдельный символ по знакомодулирующей или знаковосинтезирующей системе.

*Многоразрядные дискретные индикаторы*, которые формируют несколько символов по знакомодулирующей или знаковосинтезирующей системе в одной или нескольких строках.

*Цельные* — в них формирование изображения происходит по всей площади согласно какому-то единому физическому принципу. Такие ЭСОВИ невозможно разделить на более мелкие элементы.

*Наборные* — состоят из набора дискретных элементов отображения. В этих ЭСОВИ для получения изображения по всей площади экрана необходимы специальные электронные схемы управления.

*Проекционные* — позволяют создавать видимое изображение на любой отражающей поверхности. Они широко применяются в качестве демонстрационных экранов для большой аудитории.

**4. По физическому принципу создания изображения** ЭСОВИ делятся на две основные группы:

*Активные* — в которых электрическая энергия непосредственно преобразуется в свет, формирующий изображение. Для просмотра видеоинформации в таком ЭСОВИ не требуется внешнее освещение.

*Пассивные* — которые только модулируют внешний световой поток, создающий видимое изображение. Для просмотра видеоинформации в таком ЭСОВИ обязательно требуется внешнее освещение.

**5. По физическому принципу действия** ЭСОВИ делятся на следующие группы:

*Электронно-лучевые* ЭСОВИ, или, как их чаще называют, электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), — являлись до недавнего времени наиболее распространенным и важным устройством в технике отображения информации. Работа ЭЛТ основана на создании управляемого сфокусированного пучка электронов, воздействующего на покрытый люминофорным веществом экран и вызывающего свечение отдельных его участков. Они относятся к группе активных ЭСОВИ.

*Светодиодные (полупроводниковые)* ЭСОВИ — которые представляют собой твердотельные приборы, работающие на излучательных  $p-n$  — переходах (светодиодах), и применяются для отображения знаковой информации при относительно небольших размерах символа и ограниченном числе знаков. Для получения светодиодных экранов используют наборную конструкцию элементов отображения информации. Они относятся к группе активных ЭСОВИ.

*Электролюминесцентные* ЭСОВИ — которые построены на основе порошковых люминофоров, возбуждаемых постоянным напряжением, или

с использованием люминофоров в виде тонкой пленки, возбуждаемых высокочастотным переменным напряжением. Они относятся к группе активных ЭСОВИ.

*Вакуумные люминесцентные ЭСОВИ* — физический принцип действия их основан на использовании явления люминесценции, возникающей в катодолуминофорах при их бомбардировке электронным пучком. Они относятся к группе активных ЭСОВИ.

*Газоразрядные ЭСОВИ* — принцип действия их основан на ионизации газа вблизи катода, что вызывает образование светящейся области (плазмы). Они относятся к группе активных ЭСОВИ.

*Жидкокристаллические (ЖКИ) ЭСОВИ* — в отличие от активных приборов не генерируют свет, а наоборот, требуют дополнительной внешней подсветки, сами же выполняют роль модулятора, работая в режиме пропускания или отражения света. Регулирование светового потока достигается тем, что жидкокристаллические ячейки помещаются на пути света, и коэффициент оптического пропускания ячейки за счет прикладывания электрического поля изменяется. Они относятся к группе пассивных ЭСОВИ.

*Электрохромные ЭСОВИ* — принцип действия их основан на изменении цвета вещества под действием приложенного электрического поля, например на восстановлении металлических окислов, при этом изменяется цвет пленки, который может сохраняться длительное время. Такие индикаторы требуют специального процесса — стирания для удаления предыдущего изображения. Они относятся к группе пассивных ЭСОВИ.

*Электрофоретические ЭСОВИ* — принцип действия их основан на явлении электрофореза, под которым понимается направленное движение коллоидных частиц под действием внешнего электрического поля, в результате чего изменяется коэффициент отражения и цвет рабочего вещества. Они относятся к группе пассивных ЭСОВИ.

**6. По цвету получаемого изображения** ЭСОВИ делятся на следующие группы:

*Черно-белые ЭСОВИ* — в них изображение формируется в градации черного цвета.

*Монохромные ЭСОВИ* — в них изображение формируется в градации одного цвета.

*Цветные ЭСОВИ* — в них изображение формируется в градации смеси трех основных цветов: красный, зеленый, голубой (RGB-система), что позволяет создавать изображения любого цвета с любой яркостью и контрастностью.

**7. По форме поверхности** экрана ЭСОВИ делятся на следующие группы:

*Выпуклые ЭСОВИ* — отображающая поверхность которых имеет существенную кривизну. Это вызывает восприятие прямых линий оператором в виде изогнутых линий.

*Плоские ЭСОВИ* — отображающая поверхность которых имеет существенно малую кривизну (или отсутствие таковой), что обеспечивает правильное восприятие прямых линий оператором.

**8. По способу управления с поверхности** ЭСОВИ делятся на две группы:

*Неуправляемые ЭСОВИ* — в которых поверхность экрана невозможно использовать для ввода команд (использовать в качестве клавиатуры).

*Управляемые (сенсорные) ЭСОВИ*. В них клавиатура и экран, на который выводится информация, объединены в одно целое. Вместе с необходимым изображением на свободных местах экрана формируются изображения виртуальных кнопок управления, которые могут потребоваться в данном режиме работы. Для управления сенсором пользователь дотрагивается до экрана в соответствующих точках. Сообщение о прикосновении передается в микроконтроллер, который организует нужную реакцию на указание пользователя.

## 8.2. Методика выбора средств отображения информации

Для оценки устройств используются определенные критерии. К ним, в частности, относят:

1. Доступность.
2. Качество.
3. Удобство.
4. Гибкость.
5. Оперативность.
6. Стоимость.
7. Надежность.

Под доступностью следует понимать возможность средства отображения информации обслуживать широкий круг субъектов. Удобство работы характеризует степень удовлетворения потребностей клиента в обеспечении необходимыми инструментами коммуникации достаточной мощности. Гибкость системы отражает ее способность перестраиваться к изменению параметров при функционировании для достижения максимального эффекта. Методика выбора средств отображения информации предполагает также оценку устройств по количеству оттенков и цветов, эргономическим характеристикам, соответствию санитарно-гигиеническим требованиям и так далее.

### 8.3. Характеристики различных видов ЭСОВИ

**Мультимедийные проекторы.** Эти современные средства отображения информации предназначены для воспроизведения данных, полученных с компьютера, видеокамеры, видеомэгнитофона, проигрывателя DVD-дисков. Сведения поступают на большой экран от подключенного устройства. В большинстве случаев мультимедийные проекторы выступают как средства отображения информации индивидуального пользования. Общий принцип функционирования таких устройств напоминает слайд- и кинопроектор. Однако в данном случае вместо пленки установлена жидкокристаллическая прозрачная панель. С помощью электронной цифровой схемы на ней формируется картинка. Свет проходит сквозь панель и объектив, а на экране появляется изображение, увеличенное в несколько раз. В зависимости от конструкции, типа и мощности лампы, качества панелей, мультимедийные проекторы могут формировать разный световой поток. Соответственно, картинка на экране будет иметь разную яркость.

#### *Дополнительное оснащение*

Во многие мультимедийные проекторы встраиваются звуковые средства отображения информации. Часто устройства используются при проведении презентаций. В этих случаях полезной будет функция регулирования громкости пультом. Но следует учесть, что для высококачественного воспроизведения звуковой дорожки в большой аудитории имеющихся возможностей проектора будет недостаточно, поэтому целесообразнее применять аудиосистемы.

**LCD-мониторы.** Жидкокристаллические широкоформатные мониторы с диагональю 105, 65, 46, 42, 32 используются как технические средства отображения информации в общественных местах. Так, их устанавливают в аэропортах, на вокзалах, в торговых центрах и супермаркетах, в конференц-залах. Вместе с этим они выступают и как современные средства отображения информации индивидуального пользования. Например, они являются неотъемлемым элементом ноутбуков, планшетных смартфонов, систем видеонаблюдения.

**Плазменные дисплеи.** Их экраны могут быть намного тоньше, чем у телевизора, но при этом от них не исходит вредных электромагнитных потоков. Кроме размера, достоинством дисплеев считается более высокая контрастность картинки и угол обзора. В отличие от кинескопов, в них нет мерцания изображения. Это, соответственно, предотвращает утомление глаз зрителей при просмотре. Благодаря своим достоинствам эти средства отображения информации нашли широкое применение в аэропортах и на выставках, в телевизионных студиях. В большинстве панелей соотношение сторон 16:9. Это обуславливает

их широкое применение в домашних кинотеатрах. Экран панелей абсолютно плоский. Это обуславливает отсутствие каких-либо искажений при передаче изображения. У панелей нет неравномерности от центра к краям. Благодаря этому значительно увеличивается угол обзора.

**Структура.** Поверхность дисплея формируется из пикселей. В каждом из них присутствует по три ячейки. Они выступают как источники синего, красного и зеленого цветов. Ячейка представлена как стеклянная герметичная емкость в форме прямоугольника. Она заполнена газом, находящимся в плазменном состоянии. Ее стенки изнутри покрываются цветным фосфором. Его состав аналогичен тому, который применяется в *электронно-лучевых трубках*, установленных в мониторах и телевизорах. Сквозь каждую ячейку проходит электрический поток тлеющего разряда. Чем больше он будет, тем ярче свечение ячеек. Величина тока регулируется с помощью цифровой системы панели. С помощью ячейки можно получить порядка 16 миллионов оттенков для каждого определенного цвета. За счет этого картинка на экране становится реалистичной.

**Интерактивные доски.** Эти средства отображения информации объединяют в себе два инструмента: экран и, собственно, обычную доску. Для работы с таким устройством не требуется каких-либо особых навыков или специальных знаний. Перед началом использования интерактивную доску подключают к проектору и компьютеру. На нее проецируется картинка с любого источника. Пользователь может работать с изображением непосредственно на доске. Манипуляции с помощью компьютерной мыши заменяются касаниями экрана. На доске можно делать пометки, показывать слайды, чертить схемы, рисовать как на обычной поверхности, в режиме реального времени можно вносить любые корректировки, сохранять их как файлы для последующего редактирования, печати, рассылки.

**Особенности работы на досках.** Запись осуществляется специальным пером (электронным) или даже пальцем. Взяв в руку маркер, можно работать с картинкой на экране. Специальным пером можно выделять, обводить, подчеркивать важные участки, выстраивать схемы и вносить в них корректировки, исправлять текст. Прикосновения улавливаются сенсорными устройствами. Они транслируют их в электронные сигналы, которыми отражаются движения руки. К доске прилагается лоток с тремя маркерами и ластиком. Перед началом работы можно задать цвета, которые будут использоваться. В процессе демонстрации материала доска будет реагировать, например, на то, что взят зеленый маркер.

**Проекционные экраны.** При выборе этих средств отображения данных необходимо учесть ряд условий. В первую очередь следует сказать, что *размер*

экрана будет зависеть от количества зрителей, площади аудитории, мощности проекционного оборудования, условий освещения. Ближайшие ряды должны располагаться на расстоянии, равном двойной ширине монитора, а самые дальние — шести диагоналям. При этом вся поверхность экрана, в том числе и нижняя ее часть, должна просматриваться с любого места, включая угловые и самые дальние. Если в помещении горизонтальный пол, то расстояние до нижнего края монитора будет, скорее всего, порядка 1.5 м. В этом случае для небольших комнат (класса или кабинета для совещаний) оптимальный размер экрана о вертикали определяется высотой, которая остается до потолка.

**Ситуационные центры.** В последние годы наблюдается бурное развитие различных информационных технологий. Это, в свою очередь, обусловило возникновение больших массивов аудио-, видео-, коммуникационных данных. Их необходимо принять, структурировать, проанализировать для последующего принятия управленческих решений. Вместе с ускорением внедрения информационных технологий сокращается и время на решение тех или иных насущных задач, а также проблем, возникающих в кризисных условиях. Для оптимального принятия решений при минимальных временных затратах создаются такие средства сбора и отображения информации, как ситуационные центры. Они позволяют, кроме прочего, смоделировать различные варианты развития событий, спрогнозировать последствия конкретных действий заранее, не дожидаясь возникновения кризисных условий. Такие ситуационные центры функционируют в настоящее время в РАО РЖД, Минатоме, Министерстве по природным ресурсам, МЧС, в ряде автономных регионов. Их активным созданием занимаются и крупные нефтегазовые и промышленные предприятия.

*Задачи центров.* В ситуационных комнатах осуществляется:

- мониторинг состояния объектов управления, прогнозирование ситуации в соответствии с поступающими сведениями;
- экспертная оценка решений, их оптимизация;
- управление кризисными ситуациями.

Для реализации поставленных задач необходимы большие объемы и интенсивность поступления входящей информации. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость использовать современные средства, обеспечивающие высокую возможность приема, обработки, воспроизведения и анализа информации.

*Особенности оснащения центров.* В качестве одного из ключевых элементов выступает экран для коллективного пользования. Он позволяет создавать общий информационный язык для работников центра. Экран может быть представлен в виде проекционной установки или видеостены. Последние являются системами мультитекранного отображения различных данных. Это могут



быть, например, электронные карты, диаграммы и графики, текстовые документы в электронной форме и так далее. Видеостены отличаются модульной конструкцией. Благодаря этому они могут быть адаптированы под конкретные задачи и помещения.

**Видео-конференц-связь.** Эти системы обеспечивают передачу звука и изображения по телекоммуникационным сетям. В них применяются разные конфигурации терминалов. Они могут быть представлены, например, в виде автономных устройств или создаваться на основе персональных компьютеров. Такие связанные терминалы применяются в ситуациях, когда коммуникация осуществляется между удаленными пользователями, участвующими в совещании. В составе любой системы присутствуют: видеокамера, кодек, микрофон, устройства для отображения видео- и воспроизведения звука. Обязательным атрибутом выступают микрофоны. Они нужны не только для того, чтобы участники могли слышать друг друга, но и для коммуникации с другими центрами или офисами. Для этих целей не подходят обычные микрофоны. Целесообразнее использовать так называемые конференц-системы — микрофонные пульта. Их конструкция зависит от участника, который будет пользователем. Например, конфигурация пульта для руководителя будет отличаться от модели для рядового сотрудника.

#### 8.4. Эргономические характеристики систем отображения информации

Психофизиологические требования, предъявляемые к ЭСОВИ, определяются в первую очередь особенностями зрения. Эффективность восприятия информации зависит от типа символов, формы и угловых размеров их, уровня яркости и контрастности между изображением и фоном, цвета воспринимаемых условных знаков, уровня освещенности, величины углов обзора и расстояния до лицевых панелей. Необходимо также учитывать и психические процессы, включенные в структуру выполняемой деятельности оператора.

В ЭСОВИ для оценки средств отображения используют суммарную характеристику, определяемую как «читаемость». Читаемость оценивается по скорости и точности различения.

Читаемость элементов ЭСОВИ зависит от правильной разработки отдельных деталей. Так, важнейшим является выбор алфавита символов, используемых в качестве кодов: геометрических фигур, цифр, знаков. Легче и быстрее

опознаются цифры, образованные прямыми линиями: 1, 4, 7 (в порядке легкости опознания). Применяются шрифты Бергера, Макворта, Слейта. Бергером предложен шрифт цифр, образованный прямолинейными элементами (рис. 8.1). По начертанию лучший шрифт Макворта, по опознанию — Слейта.

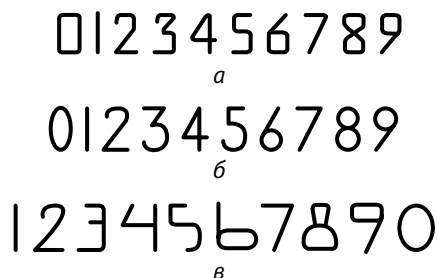


Рис. 8.1. Типы начертания цифр:  
а — по Бергеру; б — по Макворту; в — по Слейту

Толщина линий символов зависит от освещенности и контраста символов с фоном (т. е. прямой или обратный контраст). Наиболее надежно опознаются О, Т, Р, У, Ф, И, Д, К, Н, Б, Г, А, Е. Наибольшее число ошибок восприятия приходится на буквы Ш, З, М, Ц, Ы, Э, Ю, Я, Б, В, Щ, П. По точности опознания простейшие фигуры располагаются в следующем порядке: треугольник, ромб, прямоугольник, круг, квадрат.

При воспроизведении белых цифр на черном фоне толщину линии рекомендуется принимать равной 1/10 высоты цифр. При воспроизведении черных цифр на белом фоне толщина линий равна 1/6 высоты цифр. Ширина цифр составляет 2/3 высоты. Высокие, узкие цифры опознаются лучше при слабом освещении. Размеры знаков должны соответствовать расстоянию наблюдения.

В зависимости от расстояния зрительного восприятия высота знака:

$$h \geq 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\beta}{2} \right),$$

где  $l$  — расстояние наблюдения;

$\beta$  — угловой размер знака.

Время считывания непостоянно и зависит от угловых размеров символов, световых характеристик, сложности индицируемых знаков. Чем сложнее символ, тем больше времени требуется на его опознание. Алфавит индицируемых знаков в ЭУОВИ подразделяется на простые, средней сложности и сложные (рис. 8.2).

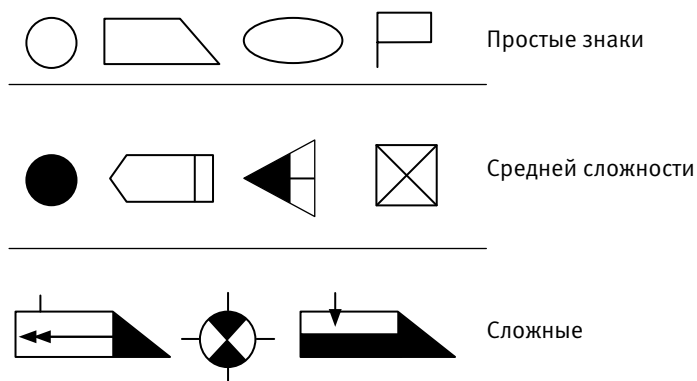


Рис. 8.2. Классификация знаков по степени сложности

Более точно познаются знаки, контур которых имеет резкие перепады. Для оптимального опознавания знаков простой сложности рекомендуется принимать угловой размер их  $= 18 \pm 1$ , знаков средней сложности  $= 21$ , сложных знаков  $= 35$ .

При использовании знаков, имеющих размеры меньше допустимых, время восприятия и число ошибок возрастают.

Большую роль в создании оптимальных условий оператору играет освещенность, принимаемая такой, чтобы оператор мог читать, производить записи.

Установлены нормы искусственного освещения (табл. 8.1) в зависимости от характера работы.

Таблица 8.1

Характер работы	Размер объекта, мм	Контрастность объекта с фоном	Фон	Наименование освещения, лк	
				Общее освещение (люминесцентное)	Общее освещение (лампы накаливания)
Особо точные работы	0,1	малая	светлый	750	300
		средняя	— » —	750	300
		большая	темный	500	300
Средняя точность	0,3÷10	малая	темный	300	150
		средняя	— » —	200	100
		большая	— » —	150	75
Малая точность	1÷10	малая	— » —	150	50
		средняя	— » —	150	50
		большая	— » —	100	30
Грубая	более 10	независимо от контрастности		100	30

На зрительное опознание элементов оказывает влияние контраст. Изображения с прямым контрастом создают лучшие условия для работы глаза (выше острота зрения, меньше утомление).

При длительной работе оператора оптимальное значение  $k_{\text{пр}} = 0,85 \div 0,9$ .

Для наилучшего различения отображаемых символов применяется цветовое кодирование. Оптимальным цветом является желтый или зеленый, наиболее простым — белый. Эти цвета и рекомендуются в ЭСОВИ.

В затемненном помещении норма яркости экранов составляет 2565 кд/м<sup>2</sup>. При опознании движущихся изображений яркость должна быть выше (до 300 кд/м<sup>2</sup>). Рекомендуемый уровень яркости свечения при внешней освещенности 200 лк приведен в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Цвет	Оптимальная яркость, кд/м <sup>2</sup>	Максимальная яркость, кд/м <sup>2</sup>
Белый	100	175
Красный	20	45
Оранжевый	65	110
Желтый	70	120
Зеленый	30	55
Голубой	35	80
Синий	20	50
Фиолетовый	10	25

Если используется несколько цветов, то выбирают наиболее различающиеся и точно опознаваемые. Цвет фона выбирают нейтральным по отношению к цветам, взятым в качестве кодовых символов. Чем темнее фон, тем меньше влияние посторонней засветки. Лучшим является серый цвет. Цветовое кодирование используется и для воспроизведения сигналов опасности. Сигналами опасности являются теплые тона, безопасности — холодные. Например: желтый — предупреждение, красный — остановка оборудования.

Кодирование цветом повышает эффективность выполнения операций по приему и переработке зрительной информации, увеличивая точность и скорость выполнения задач поиска и опознания при одновременном использовании символьного (алфавитно-цифрового) кода и цвета.

Правильная идентификация цвета возможна, если размеры цветовых полей не меньше критических, в противном случае цвет поверхностей сильно иска-

жается. Например, при угловом размере цветowych полей менее 15' желтый и зеленый цвета меняют оттенки на сине-зеленый и темно-серый соответственно. При использовании цветового кодирования необходимо руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Категория информации	Рекомендуемый цвет	
	Основной	Дополнительный
Предупреждающая информация	желтый	белый
Предписывающая (командная) информация (включить устройство, выключить и т.п.)	зеленый	синий
Запрещающая информация (неготовность или неисправность проверяемого объекта)	красный	оранжевый

При совмещении цветовой статической информации с цветовой динамической рекомендуется использовать кодирование не только по цвету, но и по насыщенности. Статическая информация выполняется в малонасыщенных цветах, динамическая — в насыщенных цветах.

Кодирование яркостью менее предпочтительно по сравнению с другими способами кодирования, поскольку вызывает большую утомляемость оператора. Не рекомендуется использовать более четырех уровней яркости (обычно — два уровня).

Кодирование частотой мелькания (мерцания) позволяет существенно сократить время поиска информации. Рекомендуется использовать не более четырех градаций этого признака. Диапазон частот мельканий 28 Гц.

Мелькание быстро утомляет оператора, поэтому ограничивают количество одновременно мерцающих объектов до двух или трех.

Алфавит символов и принципы его реализации выбирают из следующих соображений:

- наиболее важная информация отображается символами больших размеров, чем остальные;
- рекомендуемое число знаков в цифровом коде — 10, буквенном — 20, цветовом — 78.

В одном устройстве не применяют символы типа «негатив» и «позитив».

В настоящее время действует ряд методик эргономического проектирования аппаратуры. На общие эргономические показатели качества изделий введен ГОСТ 16035–70.

## 8.5. Проектирование систем отображения информации

Разработка системы отображения информации состоит из следующих этапов:

1. Психологический анализ деятельности оператора и определение всех сведений об информации, необходимой ему для выполнения заданных функций.

2. Согласование интенсивности потока сигналов с реальными возможностями человека-оператора по их приему, что важно для достижения наивысшей эффективности работы системы.

3. Выбор конкретных типов индикаторов, наиболее полно соответствующих характеру решаемых задач и возможностям оператора по приему и переработке информации.

4. Композиционное решение и определение конкретной структуры системы отображения информации:

- выбор способа кодирования и длины алфавита сигналов;
- выбор характеристик отдельных индикаторов;
- распределение информации между ними;
- определение их взаимосвязи и взаимного расположения;
- пространственная компоновка индикаторов;
- композиционное и цветовое решение системы.

5. Разработка и испытание опытных образцов, оценка полученных решений построения системы и проведение последовательной коррекции ее структуры для получения приемлемых значений ее выходных характеристик.

При размещении средств отображения информации необходимо учитывать возможности оператора по восприятию зрительной информации и размеры поля зрения оператора.

Рассмотренные ЭСОВИ дают двухмерные изображения. Однако в ряде случаев (например, в системах посадки самолетов, при проектировании корпусов автомобилей и т. п.) предпочтительнее трехмерная индикация. ЭСОВИ на электроннолучевой трубке, дополненное рядом устройств, может воспроизводить трехмерные изображения в аксонометрической (или иной) проекции; невидимые наблюдателю линии стираются, изображение можно поворачивать, чтобы оператор мог осмотреть его с разных сторон. Не менее перспективно использование трехмерных ЭСОВИ, основанных на *голографии*. Новые возможности открывает объемная индикация, при которой изображения формируются не на плоскости, а в объеме, заполненном газом. От внешних источников света в газовую среду направляют два луча; каждый из них изменяет

энергетическое состояние молекул газа, в точке пересечения лучей возникает флюоресценция (свечение) газа. При быстром перемещении лучей появляется светящийся след, который при многократном повторении воспринимается как законченное изображение.

## 8.6. Использование слухового канала для отображения информации

*Сигнализаторы звуковые (неречевых сообщений).* Сигнализатор — это индикатор, предназначенный для предъявления человеку сведений в случаях, когда требуется специальное привлечение его внимания. К звуковым сигнализаторам неречевых сообщений относятся источники звука, используемые на рабочем месте для подачи аварийных, предупреждающих и уведомляющих сигналов (например, сообщение одномерное; сообщение короткое; сообщение требует немедленных действий; место приема информации слишком освещено или затемнено; повышенные ускорения; зрительный анализатор оператора занят и др.).

Основные технические характеристики используемых звуковых сигналов неречевых сообщений указаны в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Вид звукового сигнализатора	Уровень звукового давления, дБ	Частота, Гц	Маскировка шумом	Конструктивные особенности
Генератор	50–120	200–5000	Слабая при правильно выбранной частоте по отношению к маскирующему шуму и превышении порога маскировки	Можно применять во внутренних переговорных устройствах
Зуммер	50–60	200–2000	То же	То же
Гудок	30–100	200–5000	« »	Может быть направленного действия
Сирена	80–110	200–5000	Слабая при правильно выбранной частоте по отношению к маскирующему шуму и превышении порога маскировки	Может быть направленного действия
Ревун	90–110	200–5000	То же	То же
Свисток	80–100	200–5000	« »	Можно иметь рупор для направленной передачи
Звонок	60–90	200–5000	« »	—

Звуковые сигнализаторы неречевых сообщений должны: обеспечивать привлечение внимания работающего оператора путем неожиданной подачи сигнала, изменением уровня звукового давления, модуляции по частоте и уровню звукового давления, увеличением длительности звучания, частоты следования; сообщать оператору об отказе или изменениях в системе «человек-машина»; не перегружать слуховой анализатор работающего оператора; не отвлекать внимание других операторов; не мешать речевой связи; не утомлять работающего оператора, не оглушать его при увеличении уровня звукового давления сигнала и не пугать при неожиданном появлении, что может привести к нарушению деятельности оператора.

Частотная характеристика тональных сигналов должна быть в пределах полосы 200–5000 Гц. При наличии высокочастотного маскирующего шума допускается расширение предела до 10 000 Гц. При наличии в помещении постов управления акустических экранов частотная характеристика тональных сигналов рекомендуется в пределах полосы 200–1000 Гц. При изменениях частоты тона шаг изменения должен быть не менее 3 % по отношению к исходной частоте.

Предупреждающие и аварийные сигналы должны быть прерывистыми. Несущая частота предупреждающих сигналов должна быть 200–600 Гц при длительности сигналов и интервалов между ними 1–3 с. Несущая частота аварийных сигналов должна быть 800–2000 Гц при длительности интервалов 0,2–0,8 с.

Уровень звукового давления сигналов у входа в наружный слуховой проход органов слуха человека на рабочем месте должен быть в пределах полезного динамического диапазона, т. е. от 30 до 100 дБ. При маскировке шумом предельно допустимые уровни звукового давления сигналов должны быть от НО до 120 дБ. При изменениях уровня звукового давления шаг измерения должен быть не менее 3 дБ. Уровень звукового давления аварийных сигналов должен быть не выше 100 дБ. Уровень звукового давления предупреждающих сигналов должен быть не выше 80–90 дБ. Уровень звукового давления уведомляющих сигналов должен быть ниже не менее чем на 5 % по отношению к уровню звукового давления аварийных сигналов.

Длительность отдельных сигналов и интервалов между ними должна быть не менее 0,2 с. При изменениях длительности звуковых посылок шаг измерения должен быть не менее 25 % по отношению к исходной длительности. Длительность звучания интенсивных звуковых сигналов не должна превышать 10 с. Модуляция сигналов должна производиться изменениями амплитуды и частоты. При амплитудном модулировании глубина модуляции должна быть не менее 12%. При частотном модулировании глубина модуляции должна быть не менее 3% по отношению к несущей частоте.



При маскировке шумом используют звуковые сигналы, частота которых возможно больше отличается от наиболее интенсивных частот шума. Необходимо обеспечивать превышение порога маскировки звуковых сигналов от 10 до 16 дБ (табл. 8.5).

Таблица 8.5

Диапазон частот тонального сигнала, Гц	Предельно допустимый уровень звукового давления сигналов, дБ	Превышение общего уровня звуко- вого давления сигнала над акусти- ческим шумом, дБ, не менее
200–800	120	10
800–2000	115	13
2000–5000	110	16

При маскировке тональными сигналами используют звуковые сигналы, частота которых максимально отличается от частоты маскирующего тона.

*Восприятие речевых сообщений.* Одним из наиболее эффективных средств передачи информации человеку является речь. Вопрос о характеристиках речевых сигналов прежде всего возникает при разработке аппаратуры, предназначенной для передачи информации от человека к человеку, а также при обмене информацией между человеком и машиной.

Важным условием восприятия речи является различение длительности произнесения отдельных звуков и их комбинаций. Среднее время длительности произнесения гласного равно примерно 0,35 с. Длительность согласных колеблется от 0,02 до 0,30 с. При восприятии потока речи особенно важно различение интервалов между словами и группами слов. Восприятие и понимание речевых сообщений (аудирование) зависит от темпа их передачи. Оптимальным считается темп 120 слов/мин. Сообщения достаточно хорошо воспринимаются при темпе речи 160 слов/мин.

Чтобы речевые звуки были понятными, их интенсивность должна превышать интенсивность шумов примерно на 6 дБ. Если одновременно увеличивать уровни речи и шума, оставляя константным их отношение, то разборчивость речи будет повышаться, но лишь до некоторого предела, за которым наблюдается ее падение. При увеличении уровня речи до 120 дБ и шума до 115 дБ разборчивость речи ухудшается примерно на 20 %.

При восприятии отдельных *слов* и *словосочетаний* существенную роль играют их фонетические характеристики; при восприятии *словосочетаний* в действие вступают синтаксические зависимости, а фонетические отступают на второй план.

Точность опознавания слов на фоне белого шума (при отношении речи к шуму в 10 дБ) зависит от длины слов. Если односложные слова правильно аудируются лишь в 12,5% случаев, то шестисложные — в 40,6%. Более длинное слово обладает большим числом опознавательных признаков, что обеспечивает и более точное его аудирование. Наблюдается тенденция к более точному аудированию слов, начинающихся с гласного звука, нежели с согласного.

Имеет значение место ударного слога. Если ударение находится в конце слова, то все слово опознается значительно лучше.

На восприятие слов влияние оказывают фонетические закономерности, при восприятии словосочетаний — синтаксические закономерности. Слушатель легче всего улавливает согласование, затем управление и, наконец, примыкание. Стереотипные словосочетания, фразеологизмы опознаются значительно хуже, чем следовало бы ожидать.

При переходе к фразам слушатель начинает ориентироваться уже не на отдельные элементы предложения, а на весь его сложный грамматический каркас.

Длина фразы (на фоне белого шума) не имеет для слушателя особого значения примерно до уровня в 11 слов. Превышение этого числа приводит к существенному ухудшению аудирования. С увеличением глубины точность аудирования снижается, глубокие части фразы улавливаются слушателем намного хуже, чем мелкие, критической величиной является глубина фразы, равная  $7 \pm 2$ .

Аудирование представляет собой многоуровневый процесс, в котором сочетаются фонетический, синтаксический и семантический уровни.

*Словесные сигналы предостережения.* Эти сигналы состоят из начального настораживающего сигнала (неречевого) для привлечения внимания и обозначения общей задачи, а также из краткого стандартизированного речевого сигнала (словесного сообщения), который идентифицирует конкретные условия и предлагает соответствующие действия.

Уровень словесных сигналов тревоги для критичных функций должен быть по крайней мере на 20 дБ выше уровня помех в месте расположения оператора, принимающего сигнал.

Голос, используемый для записи словесных сигналов предостережения, должен иметь хорошую дикцию и быть хорошо развитым. Словесный сигнал предостережения дается официальным, беспристрастным и спокойным голосом. Слова должны быть, во-первых, разборчивыми, во-вторых, соответствующими смыслу ситуации (условий), и, в-третьих, краткими.

Критичные сигналы предостережения следует повторять с паузой не менее 3 с между сообщениями до тех пор, пока положение не будет исправлено.

Система словесного предупреждения должна иметь блокировку режимов, выполненную таким образом, чтобы не допустить передачи сообщения, не имеющего смысла для существующих в данное время условий.

Громкость звукового сигнала предостережения должна регулироваться оператором или автоматическим механизмом с учетом производственных условий и факторов безопасности операторов. Движение регулятора громкости должно быть ограничено, чтобы любой сигнал был слышен оператору.

В системе предостерегающей сигнализации предусматриваются средства для ручного установления и регулировки громкости. Длительность звуковых сигналов предостережения должна быть не менее 0,5 с и может продолжаться до соответствующей реакции (корректирующего действия) оператора или автомата. Завершение корректирующего действия должно автоматически прекращать сигнал.

В аварийных ситуациях не следует использовать сигналы, которые остаются включенными или нарастают, если их отключение может мешать необходимым корректирующим действиям.

## 8.7. Использование тактильного канала для отображения информации

Наибольшее количество информации оператор получает через зрительный и слуховой каналы, что может привести к их перегрузке. К тому же вследствие действия определенных препятствий сигналы этих модальностей могут приходить существенно искаженными, что приводит к погрешности в восприятии информации. В связи с этим в последнее время осуществляется поиск возможностей передачи информации по другим каналам восприятия информации человеком-оператором. Наиболее перспективным считается использование тактильного анализатора. Экспериментальные исследования показали, что осязательный образ формируется на базе синтеза значительного количества тактильных и кинестетических сигналов. Известно, что кожа человека воспринимает термические, химические, механические и электрические раздражители. Если использование первых двух пока невозможно для передачи информации, то в отношении двух последних есть определенные достижения [2].

Механические раздражения передаются с помощью вибраторов и воспринимаются различными частями кожи тела человека по-разному. Абсолютная чувствительность измеряется минимальным давлением, необходимым

для возникновения ощущения, и составляет: для наиболее чувствительных зон (губы, язык) —  $1...50 \text{ мг/мм}^2$ , для наименее чувствительных зон (спина, живот) —  $10 \text{ г/мм}^2$ .

Дифференциальный порог различения равен примерно 7 % первоначального давления.

Пространственная чувствительность тоже зависит не только от характеристик раздражителя, но и от особенностей определенных зон тела человека. Дифференциальный пространственный порог минимально на губах и кончиках пальцев —  $1...2,5 \text{ мм}$ , а максимальный — на спине и плечах —  $60 \text{ мм}$ . Наибольшая чувствительность наблюдается при частоте вибрации  $100...300 \text{ Гц}$ .

Известен интересный способ передачи информации с помощью вибраторов. Человеческую речь записывают на пленку и воспроизводят в несколько раз медленнее нормального темпа. Полученные низкочастотные электрические сигналы превращают в механические колебания пластинки, которая касается поверхности кожи человека. После нескольких тренировок операторы могут определять основные звуки языка. Этот метод может быть использован при передаче сигналов в условиях значительных шумов, когда слуховой анализатор действует неэффективно.

Кроме того, при нарушениях зрения человека (слепых и слепоглухих) роль тактильного анализатора становится ведущей, потому что это единственный канал, по которому информация от внешней среды передается в мозг человека.

Особенности тактильно-вибрационной чувствительности человека учтены при конструировании оригинального прибора для слепых «Оптакон», в котором оптические сигналы преобразуются в тактильно-вибрационные, что дает слепому человеку возможность читать обычные книги со скоростью  $40\text{--}50$  слов в минуту.

Наряду с достижениями в этом направлении есть и определенные недостатки, которые сдерживают использование механического способа передачи информации. Прежде всего, это несовершенство самих вибраторов, а именно их громоздкость и инерционность. В связи с этим ведутся разработки по использованию электротактильной стимуляции для передачи информации [2].

## Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию электронных средств отображения визуальной информации.
2. Какова методика выбора средств отображения информации?
3. Назовите эргономические характеристики систем отображения информации?
4. Как осуществляется проектирование систем отображения информации?
5. Когда необходимо использование слухового канала для отображения информации?
6. Когда необходимо использование тактильного канала для отображения информации?

## Рекомендуемая литература

1. Воронин В.М. Психологические проблемы речевого общения в системе человек-ЭВМ / В.М. Воронин, Е. Г., Санникова, З.А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2010. — 164 с.
2. Воронин В.М. Тактильная коммуникация. Передача информации через тактильный канал человека / В.М. Воронин, З.А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2013. — 164 с.
3. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В.Ф. Венда. — М., 1982. — С. 344.
4. Мунипов В.М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В.М. Мунипов, В.П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
5. Основы инженерной психологии / под ред. Б.Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
6. Стрелков Ю.К. Практикум по инженерной психологии и эргономике / Ю.К. Стрелков. — М. : Академия, 2003. — 400 с.

## Глава 9

# Эргономическая система. Органы управления

К органам управления (ОУ) относятся устройства, с помощью которых человек управляет объектами.

*Общие требования к органам управления.* Каждому типу исполнительных (управляющих) действий оператора свойственны свои биомеханические особенности, учет которых необходим при выборе конструкции и размещении органов управления. Поэтому основное внимание уделяется органам управления, обеспечивающим реализацию решений, принимаемых операторами автоматизированных систем, т. е. обеспечивающим ручной ввод информации, ее вызов на устройство отображения и контроля, установку измеряемых или отсчитываемых величин, а также воздействие на исполнительные органы объектов управления (пуск и остановку механизмов, переключение режимов работы и т. п.).

Поскольку различные органы управления могут применяться для осуществления одних и тех же функций, постольку при выборе этих органов следует учитывать удобство их эксплуатации, безопасность, технологичность конструкции, а также принципы технической эстетики. Такой учет представляет собой трудную задачу, так как оцениваемые подобным образом параметры органов управления должны, помимо того, обязательно соответствовать антропометрическим и биомеханическим данным. Результаты совокупной оценки, как правило, обобщаются. На их основе создаются стандарты и нормали, хотя многие из этих результатов еще остаются на уровне общих требований.

### 9.1. Общие требования к органам управления

Органы управления выбираются с таким расчетом, чтобы направление их движения соответствовало направлению движения, связанного с ними индикатора, элемента оборудования или средства передвижения. Движение органа управления вперед, по часовой стрелке, вправо или вверх, а также нажатие

на него должны соответствовать включению оборудования или его элемента, увеличению измеряемой (отсчитываемой) величины, а также движению оборудования или его элементов вперед, по часовой стрелке, вправо или вверх.

Вращающиеся регуляторы клапанов должны открывать клапаны при вращении против часовой стрелки. Органы управления клапанами снабжаются двунаправленными стрелками, показывающими направление закрывания и открывания клапана с соответствующими надписями (например «Открыто», «Закрыто»).

Если воздействия на органы управления осуществляются в определенной последовательности, то органы управления должны быть соответствующим образом сгруппированы. При этом их следует располагать так, чтобы облегчить оператору работу (сохраняя привычный порядок действия — слева направо и сверху вниз). Особо важные и часто используемые органы управления должны иметь наиболее удобное расположение для их досягаемости и захвата. Это относится в первую очередь к вращающимся органам управления и требующим тонкой установки (настройки).

Органы управления, применяемые исключительно для технического обслуживания и регулировки, относятся к категории редко используемых, поэтому они должны быть закрыты, но вместе с тем легко достигаемы.

Органы управления, выполняющие сходные функции, располагаются единообразно на разных панелях. Органы управления, используемые для выполнения одних и тех же функций на различных панелях, должны быть одного и того же размера.

Формы органов управления должны легко идентифицироваться и не иметь острых краев.

Органы управления должны быть удобными и при работе в перчатках или рукавицах. Для этого размеры органов управления дополнительно уточняются. Если необходимо работать вслепую, органы управления должны кодироваться формой или находиться на расстоянии не менее 12 см от соседних органов управления.

Органы управления конструируются и располагаются таким образом, чтобы их нельзя было случайно сдвинуть. Особое внимание обращается на критичные органы управления, неосторожное и случайное перемещение которых может привести к повреждению оборудования, ранению операторов или ухудшению системы. Расположенные на внутренней части панели или открытые органы управления следует защищать от случайного срабатывания. Для защиты органов управления от случайного срабатывания в зависимости от конкретных условий необходимо:

- располагать и ориентировать органы управления таким образом, чтобы оператор при нормальном выполнении своих функций не мог случайно задеть или передвинуть их;
- использовать экранирование и другие способы защиты;
- обеспечить органы управления надежной блокировкой;
- создать в органах управления механическое сопротивление (т. е. вязкое или кулоновское трение, нагрузку пружины или инерцию), чтобы для перемещения органов управления нужно было приложить определенное усилие;
- обеспечивать органы управления замками для предотвращения перехода в запрещенное положение;
- использовать вращающуюся конструкцию органов управления.

Автоматический тормоз, который обеспечивает автоматическое переключение системы в некритическое рабочее состояние в случае снятия усилия, применяется во всех случаях, когда оператор не способен выполнить работу, и это может привести к критическому состоянию системы.

Выбор органов управления зависит от следующих факторов:

- структуры и особенностей деятельности оператора, как при нормальной работе системы, так и при их отказе;
- антропометрических, психофизиологических характеристик человека;
- управляющих действий, которые должен производить оператор (включение, переключение, регулировка);
- рабочего положения тела человека (сидя, стоя);
- динамических характеристик рабочих движений (усилия, точность, диапазон, траектория и т. д.);
- технических характеристик объекта управления;
- информации, на которую должен отвечать человек или которую должен вводить в машину;
- места расположения ОУ (на панели пульта или вне ее);
- характеристик рабочей среды (освещенность, вибрация, помехи и т. д.);
- наличия или отсутствия спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Различают ручные и ножные органы управления. Ручные органы управления рекомендуется использовать тогда, когда важны точность установки органа управления в определенное положение, скорость манипулирования, а также когда нет необходимости в непрерывном или продолжительном приложении усилий в 90 Н и более. Усилия, прилагаемые к органам управления, не должны превышать допустимых динамических и (или) статических нагрузок на двигательный аппарат человека.



При размещении ОУ на рабочем месте следует учитывать:

- структуру деятельности человека;
- требования к частоте и точности движений;
- требования к величине прилагаемых усилий;
- положение тела и условия формирования рабочей позы;
- размеры моторного пространства;
- условия сенсорного контроля, поиска и различения органов управления;
- условия идентификации функций органов управления;
- опасность неумышленного изменения функционального положения органов управления.

Требования к размещению органов управления касаются их размещения на рабочем месте относительно работающего, группирования и взаимного расположения на панели относительно СОИ или управляемых объектов.

Органы управления должны быть сгруппированы в моторном пространстве рабочего места. Большинство ручных органов управления постоянного действия должно располагаться на уровне локтя или чуть ниже. Редко используемые ОУ (2–3 раза в смену) могут располагаться на уровне плечевого пояса или лучезапястного сустава.

ОУ должны отстоять от передней поверхности туловища оператора не менее чем на 150 мм (рука согнута в локтевом суставе), но не более чем на размер вытянутой вперед руки.

Независимо от типа органы управления должны быть логически сгруппированы в определенную пространственную структуру с учетом:

- функционального назначения (принадлежность к определенному комплексу оборудования, системе, агрегату, функциональному узлу);
- последовательности использования в зависимости от алгоритма деятельности оператора;
- времени использования (в период подготовки к эксплуатации или в период функционирования системы);
- характера режима работы системы;
- значимости органа управления для работы системы (нельзя располагать рядом органы управления, используемые при нормальной работе и в аварийных ситуациях).

Если одна часть объектов располагается справа от рабочего места оператора, а другая — слева, то органы управления этими объектами на пульте управления располагаются аналогично относительно сагиттальной оси симметрии.

При определении расстояния между приводными элементами во внимание принимаются одновременность или последовательность использования

органов управления, способ захвата приводного элемента, его размеры, направление его перемещения, необходимость работы вслепую, возможность случайного включения, наличие спецодежды (спецобуви), наличие вибрации, степень подвижности рабочего места.

При последовательном использовании органов управления их следует располагать по горизонтали слева направо или сверху вниз, а в пределах ряда — сверху вниз или слева направо и как можно ближе друг к другу.

При манипулировании органами управления вслепую расстояние между смежными краями приводных элементов должно быть не менее 150–300 мм в зависимости от зоны расположения органа управления. При работе в перчатках это расстояние должно быть увеличено.

Ручные органы управления следует располагать так, чтобы ни приводной элемент, ни рука работающего не закрывали расположенных рядом СОИ.

Направление перемещения органа управления по возможности должно быть мнемонически согласовано с воздействием, оказываемым на систему или ее отдельные агрегаты.

Если на панели расположено большое количество взаимосвязанных органов управления и СОИ, рекомендуется каждый орган управления располагать непосредственно под связанным с ним индикатором: справа вверху — для правой руки; слева вверху — для левой.

Орган управления состоит из приводного элемента и исполнительной части.

При расчете конструктивных параметров приводных элементов следует исходить из вида управляющих движений, типа захвата и возможности минимизации прилагаемых усилий, заданного диапазона точности, быстродействия и надежности управляющего движения.

## 9.2. Типы приводных элементов органов управления

Кнопки и клавиши.

Рычажные переключатели (тумблеры).

Поворотные переключатели и регуляторы.

Маховики и штурвалы.

Кривошипные рукоятки.

Рычаги управления.

### **Кнопки и клавиши**

Кнопки и клавиши — применяются для проведения быстрых операций типа «включено–выключено», требуются при управлении незначительных физических усилий, позволяют осуществлять управляющие действия с наибольшей скоростью.

В целях исключения возможности случайного включения соседних кнопок расстояние между их соседними краями должно составлять не менее 15 мм (при работе в перчатках — не менее 25 мм), а для кнопок, нажимаемых большим пальцем, — не менее 50 мм. При освещенности пульта управления ниже 300 лк и частоте нажатия более 5 раз в минуту размеры приводных элементов и расстояний между ними следует увеличить в 1,5–3 раза.

Для контроля операции включения — выключения целесообразно использовать подсвет.

### **Рычажные переключатели (тумблеры)**

Рычажные переключатели (тумблеры) — применяются для быстрого включения, выключения и переключения режимов работы, не требуют при управлении больших физических усилий, хорошо опознаются на рабочем месте, позволяют осуществлять операции с большой скоростью.

Форма приводного элемента (рычажной части) тумблера может быть конусообразной, многогранной или цилиндрической с расширением на конце в виде шарика или лопатки. Приводной элемент тумблера должен иметь длину не менее 10–15 мм и толщину в расширенном участке 3–5 мм. Межпозиционные перемещения рычажка должны выполняться в секторе 40–60° — для двухпозиционного тумблера и в секторе 30–50° — для трехпозиционного.

Положение тумблера, характеризующее его состояние, должно легко распознаваться визуально, тактильно и на слух (как щелчок). Позиция приводного элемента «вверх» должна соответствовать состоянию «включено».

При размещении тумблеров на панели управления в ряд расстояние между их осевыми линиями должно быть не менее 19 мм, при работе в перчатках — не менее 25 мм.

Если тумблеры перекидываются в противоположных направлениях, их концы должны быть удалены друг от друга на расстояние не менее 19 мм. Расстояние между осевыми линиями тумблеров и другими элементами управления должно быть не менее 25 мм.

### **Поворотные переключатели и регуляторы**

Поворотные переключатели и регуляторы — применяются для операций «включения — выключения», плавного непрерывного или ступенчатого регулирования, требуют незначительных усилий при работе. Конструкция их должна обеспечивать сигнализацию об установлении каждой дискретной позиции посредством слышимого щелчка или ощущаемого скачкообразного изменения.

Приводные элементы поворотных переключателей ступенчатого действия (селекторные переключатели) должны иметь указатель (стрелку, точку, метку и т. п.) а также надежное устройство подпружинной фиксации положения, которое должно обеспечивать возможность быстрого и однозначного определения позиции переключения. Для крайних позиций приводного элемента необходимо предусматривать стопоры.

Селекторные переключатели следует использовать для дискретного переключения от 3 до 24 исполнительных позиций. Они должны быть снабжены движущейся стрелкой, ориентирной опорной линией, а также неподвижной шкалой. Контрастность ориентирной линии должна составлять не менее 50 % цвета всего переключателя. При манипулировании переключателями шкала не должна прикрываться рукой.

Размеры рукоятки поворотного переключателя должны находиться в пределах: диаметр 20–120 мм, ширина 2–15 мм, высота 10–55 мм.

Ручкам, рассчитываемым на точную регулировку, необходимо обеспечить диапазон поворотов на 30–60° в каждую сторону от нулевой точки. У ручек, рассчитываемых на большие усилия, боковые поверхности должны быть ребристыми для обеспечения надежного захвата.

Расстояние между краями соседних ручек при работе пальцами должно составлять не менее 20 мм, при работе в перчатках — не менее 25 мм, при работе кистью — не менее 50 мм, при работе двумя руками — не менее 70 мм.

### **Маховики и штурвалы**

Маховики и штурвалы — предназначены для ступенчатых переключений и плавного регулирования, выполняемых одной или двумя руками. Они применяются в условиях, требующих значительных усилий либо точного регулирования.

Маховик (ручное колесо со спицами или без них) — орган управления диаметром более 50 мм; штурвал (рулевое колесо) — вид маховика, применяется для изменения направления движения объекта.

Обод маховика должен иметь круглую, овальную или близкую к ним форму, его поверхность не должна иметь острых углов и заусенцев. Рукоятки враще-

ния маховика должны быть удобными для захвата и обеспечивать надежное удержание в процессе управления. Предпочтительны цилиндрическая, веретенообразная, грушевидная и другие удлиненные формы с гладкой или рифленой поверхностью.

Кодирование назначения маховиков целесообразно производить формой и размером, ободов — цветом и расположением в моторном пространстве. Конечные позиции маховика (штурвала) следует снабжать стопором, а маховики, предназначенные для ступенчатых переключений, должны иметь пружинные фиксаторы.

При совместных управляющих действиях двумя руками на двух маховиках направления вращательных движений должны быть взаимно противоположными.

### **Рычаги управления**

Рычаги управления — предназначены для ступенчатых переключений и плавного динамического регулирования одной или двумя руками. Их используют при средних или больших усилиях, быстрых движениях при коротком пути управления и прямых траекториях.

Рычаги управления необходимо устанавливать в пределах минимальной и максимальной зон досягаемости для рук с соблюдением требований безопасности. Максимальное допустимое число позиций рычага равно 8.

Рычаги, перемещаемые двумя руками, следует располагать в срединно-сагитальной плоскости с отклонениями в стороны не более 100 мм. Рычаги, перемещаемые одной рукой, должны располагаться со стороны действующей руки на уровне локтя, при сгибании ее в локтевом суставе под углом 90–135° и при направлении движения к себе от себя.

Рычаг удобнее перемещать в вертикальной плоскости чем в горизонтальной. Размах рычага не должен быть более 200 мм (в любую сторону).

### **Ножные органы управления**

Ножные органы управления — предназначены для операций типа включения-выключения и регулирования состояния объекта управления.

При частом и продолжительном пользовании ножными органами управления необходимо обеспечить работу в положении сидя.

Усилие, прилагаемое к педали, определяется рядом факторов: типом объекта управления, конструктивным решением педали, положением работающего (сидя или стоя), частотой использования и т. п. Усилие, развиваемое ногой, больше в положении стоя. При выполнении работ в положении стоя следует

по возможности избегать применения педалей. Если это необходимо, то педаль должна располагаться на высоте не более чем 200 мм от пола. Направление движения должно быть приблизительно вертикальным. Движения нажатия должны осуществляться только в голеностопном суставе.

Педали следует располагать в зоне досягаемости или в оптимальной зоне действия ног. Для обеспечения оптимального положения ноги в положении сидя угол в голеностопном суставе должен составлять 90–100°, а в коленном 110–120°.

### 9.3. Речевой ввод информации

Управление машиной (станком, ЭВМ, исполнительным механизмом и др.) посредством речевых сигналов имеет ряд преимуществ по сравнению с механическим вводом:

- 1) облегчает работу оператора, поскольку человек более приспособлен для передачи информации посредством речи, нежели движениями конечностей;
- 2) является более надежным, быстрым и менее утомительным для оператора;
- 3) позволяет сократить сроки подготовки операторов, поскольку не требует специального научения (достаточно только освоения словаря команд и правил управления);

- 4) дает большую свободу действий оператора (можно работать в темноте, не требуется обязательного присутствия оператора у пульта управления, при использовании радиомикрофона возможна полная свобода перемещений оператора). Затрудняющими факторами при речевом управлении машиной являются различные акустические шумы и помехи, в том числе шумы в помещении, разговоры других операторов, акустические сигналы механизмов и т. п. Речевой ввод информации может использоваться для установления режимов машины, корректировки ее работы, запроса данных, которые могут потребоваться по ходу управления, и др. Однако на пути практического применения систем речевого ввода информации имеются немалые технические трудности, связанные со сложностями реализации автоматических распознавателей речи. Поэтому на практике применяются лишь системы распознавания, рассчитанные на работу с ограниченным словарем. Создание автоматических распознавателей речи основано на построении модели восприятия устной речи человеком. Построение модели опирается на следующие положения:

- 1) наиболее эффективным методом опознания речи является параллельный анализ временных и спектральных характеристик речевых сигналов;

- 2) в основе алгоритма распознавания речевых сигналов лежит преобразование звуковых колебаний в текущий спектр;
- 3) каждая реализация текущего спектра может быть представлена в виде детерминированного N-мерного вектора;
- 4) в памяти модели фиксируются эталоны в виде N-мерных векторов, которые обозначают определенный тип классов речевых сигналов;
- 5) в процессе распознавания текущий спектр отождествляется с одним из эталонов в соответствии с принятыми правилами. Распознавание может проводиться на уровне фонем, сегментов (квазистационарных участков спектра длительностью 10–15 мс). По акустическому спектру речи вначале распознаются сегменты, по ним — фонемы, а по фонемам — отдельные слова.

#### 9.4. Использование интерфейса «мозг-компьютер» (BCI) для ввода управляющей информации

В последнее время стали рассматривать использование интерфейса «мозг-компьютер» в качестве нестандартной технологии управления движущимися объектами, позволяющей отслеживать аутентичность источника сигналов в постоянном режиме. В результате многолетних исследований была показана возможность распознавать шаблоны суммарной электрической активности мозга и использовать их для формирования мысленных приказов электронике. Все это время предпринимались попытки приспособить интерфейс «мозг-компьютер» (BCI) для более актуальных практических задач. Основным направлением была выбрана реабилитационная медицина. С помощью интерфейса «мозг-компьютер» многие научные коллективы пытались вернуть утратившим конечности или парализованным людям способность к движению.

Помимо восстановления моторных функций активно велись разработки и в направлении сенсорных. Десятилетиями группы ученых пытались наделить слепых хоть каким-то подобием зрения. В каждом из этих направлений сегодня есть заметные успехи, но сложностей в практическом применении еще масса. Главные из них касаются больших габаритов всей системы, малого времени ее автономной работы и многочисленных проводных подключений. По этой причине, а также в силу высокой стоимости такие устройства до сих пор единичны. В 2013 году ученым удалось создать первый беспроводной имплантируемый интерфейс «мозг-компьютер». Новый BCI работает от бесконтактно подзаряжаемого автономного источника питания. Помимо миниатюрности он отличается мобильностью, возможностью длительного использования

и надежностью передачи сигналов, сравнимой с проводной реализацией. В проводных вариантах кабели ограничивали возможности дизайна и задавали жесткие рамки для самих условий испытаний. Добровольцы фактически были привязаны к креслу, поэтому раньше экспериментальная часть обычно ограничивалась анализом ЭЭГ при выполнении ими простых движений. Теперь, благодаря беспроводному интерфейсу, появилась возможность сконцентрироваться на изучении работы мозга во время сложных процессов в более естественных условиях и реальных сценариях. Беспроводная реализация BCI была успешно опробована сначала на свиньях и обезьянах в течение более 13 месяцев. Затем прошли успешные испытания на добровольцах. Электроника нового интерфейса (за исключением микроантенн) размещается в герметичном титановом корпусе. Она питается от литий-ионной батареи с индуктивной схемой зарядки. Чип соединяется с различными отделами коры больших полушарий головного мозга при помощи микроэлектродов. В текущей версии интерфейса их используется сто штук. Electroды имплантируются в соматосенсорные и двигательные области коры, соответственно передавая сигналы от органов чувств и управляющие команды мозга. От чипа оцифрованные данные передаются на частоте 3,2 и 3,8 ГГц со скоростью 24 Мбит/с на расположенный поблизости компьютер. Потребляемая мощность трансмиттера составляет всего 100 мВт, поэтому двухчасовой индуктивной зарядки всей имплантированной части системы хватает на шесть часов непрерывной работы. Исследователям удалось даже создать и вживить миниатюрную систему водяного охлаждения для того, чтобы нагрев прибора во время зарядки не вызывал неприятных ощущений. Прделанная работа важна не столько для выполнения более сложной экспериментальной части, сколько для нужд практической медицины. Сейчас разрабатывается интерфейс управления роботизированными манипуляторами «силой мысли». Его более сложный вариант будет использоваться для контроля движений собственных рук у лиц с травмой шейного отдела позвоночника. В перспективе такое применение интерфейса «мозг-компьютер» сможет улучшить качество жизни тысяч людей. Конечно, до чудес подлинного симбиоза с компьютером еще очень далеко. Пока все эти системы выглядят крайне неуклюже, однако избавление от проводов уже может существенно повысить удобство работы с ними. В России работы в направлении BCI ведутся разными научными коллективами, но чаще других в последнее время упоминается лаборатория нейрофизиологии и нейрокомпьютерных интерфейсов биологического факультета МГУ. Под руководством профессора Александра Каплана были разработаны методики игрового обучения управлению BCI и различные компьютерные программы. Благодаря одной из них лишенные возможности



печатать люди могут набирать текст, мысленно выбирая нужную букву на пересечении символьных строк и рядов. Другие программы созданы для посттравматической реабилитации методами биологической обратной связи и направлены на восстановление функций самого мозга. К сожалению, несмотря на хорошую научную базу и наличие квалифицированных кадров, по уровню технической реализации отечественные разработки еще значительно уступают рассмотренным выше примерам. Даже простое упоминание числа одновременно используемых у зарубежных коллег отведений (128–256) вызывает у наших соотечественников разноцветную зависть. Поэтому нынешним студентам придется немало потрудиться, чтобы исправить это положение.

## Контрольные вопросы

1. Назовите общие требования к органам управления.
2. Назовите типы приводных элементов органов управления.
3. В чем заключается преимущество речевого ввода информации?
4. Какие возможности открывает использование интерфейса «мозг-компьютер» для ввода управляющей информации?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Психологические проблемы речевого общения в системе человек-ЭВМ / В. М. Воронин, Е. Г., Санникова, З. А. Наседкина. — Екатеринбург : УрГУПС, 2010. — 164 с.
2. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
3. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
4. Стрелков Ю. К. Практикум по инженерной психологии и эргономике / Ю. К. Стрелков. — М. : Академия, 2003. — 400 с.

## Раздел 2

# ФИЗИЧЕСКАЯ ЭРГНОМИКА

## Глава 10

# Антропометрические требования в эргономике

**Антропометрия** (от греч. Antropos — человек и ...метрия) — составная часть антропологии (науки о происхождении и эволюции человека); является системой измерений человеческого тела и его частей, морфологических (анатомических) и функциональных признаков тела, для того чтобы выявить различия между отдельными людьми, группами. Первооткрывателем в этой области в 1870 г. стал бельгийский математик Кетле.

## 10.1. Антропометрические характеристики человека

Антропометрические характеристики человека служат основой при *нормировании функциональных параметров предметно-пространственной среды, создании ее объемно-пространственных структур*. Полученная информация при измерении человеческого тела может принять форму антропометрически ориентированных проектных конструкторских норм, соблюдение которых позволит человеку комфортно ощущать себя в интерьерах, где он живет, работает или играет. Этими интерьерами пользуются люди разного роста, веса, пола, возраста и физического состояния, представителей различных рас и культур.

Важнейшие из эргономических характеристик — размеры тела и его параметры — являются ключевыми при проектировании и конструировании. Поскольку подавляющее большинство зданий и сооружений рассчитаны на пребывание в них человека, то их пространственные параметры регулируются антропометрическими показателями, включающими статические размерности

и пропорции тела, а также объем оперативного (рабочего) пространства человека в процессе его дистанционного перемещения и на рабочем месте.

Различают **классические и эргономические** антропометрические признаки. Первые используются при изучении пропорций тела, возрастной морфологии, для сравнения морфологических характеристик различных групп населения, а вторые — при проектировании изделий и организации труда.

**Возраст** — это существенный фактор, влияющий на параметры тела. Рост организма заканчивается в 18–22 года у мужчин и немного раньше у женщин. После наступления зрелости рост у представителей обоих полов с годами уменьшается. Исследования показали, что у пожилых женщин размеры тела были меньше, чем у молодых, это особенности самого процесса старения. Другой вывод этого исследования заключался в том, что при равном росте пожилые люди не могут вытянуть руку вверх на такую высоту, как более молодые.

**Социально-экономические факторы** тоже существенно влияют на размеры тела. Хорошее питание людей с более высокими доходами приводит, например, к сокращению детской заболеваемости и, следовательно, к лучшему росту и развитию организма.

К сожалению, сбор антропометрических данных чаще всего проводится среди военных. Недостатком этих массовых исследований является их ограниченность по возрасту и полу.

Как показывает статистика, измерения тела в каждой конкретной популяции распределяются таким образом, что их большая часть тяготеет к средним показателям, а наибольшие и наименьшие измерения малочисленны. Поскольку невозможно разработать дизайн для всего населения, необходимо выбрать сектор со средними показателями, и сегодня общепринятой практикой считается не принимать во внимание крайние пороговые значения и разработать дизайн для 90 процентов населения. Поэтому большая часть антропометрических данных выражается в процентилях.

**Процентиль** (перцентиль — в учебнике В. Ф. Рунге) — значение антропометрического признака (например, длина тела, высота плеча над полом) для той доли совокупности измеренных людей.

**Пояснение:** Для удобства исследований население делят на 100 категорий — каждая по одному проценту, и данные, касающиеся определенных измерений тела, располагают по возрастающей в виде кривой. Первый процентиль роста означает, например, что у 99 процентов испытуемых этой группы рост выше, чем у данной категории. 95-й процентиль роста показывает, что только пять процентов обследуемых имеют больший рост, а 95 процентов — такой же или ниже. Каждый процентиль имеет свой номер, совпадающий с его порядком.

Имея дело с процентилями, надо иметь ввиду, что, во-первых, антропометрические процентиля относятся только к одному измерению тела данного индивидуума. Во-вторых, не существует индивидуума 95, 90 или 5-го процентиля. Это виртуальные цифры. У человека с 50-м процентилем роста может быть 40-й процентиль высоты колена и 60-й процентиль длины кисти.

50-й процентиль очень близок к средним показателям среднестатистического человека, и разработать дизайн, опираясь на данные 50-го процентиля, было ошибкой, так как подобные действия приведут к ущемлению интересов 50 процентов представителей исследуемой группы.

При проектировании изделий, оборудования, организации интерьеров и рабочих мест дизайнеру необходимо помнить, что удобство их эксплуатации должно обеспечиваться для 90 % работающих или отдыхающих. Поэтому в практике проектирования чаще используют значения антропометрических признаков, соответствующих 5-му и 95-му процентилем, а также 50-му.

Инженер-эргономист Алберт Деймон утверждает, что дизайнеру для проектирования интерьера необходимы десять параметров структурных и функциональных измерений человека в таком порядке: *рост, рост сидя, досягаемость большого пальца руки, расстояние от ягодицы до колена, расстояние от ягодицы до подколенной ямки, расстояние между локтями, ширина бедер в положении сидя, высота колена, высота подколенной ямки, высота бедра в положении сидя.*

**Рост** — это вертикальное расстояние от пола до макушки головы, измеряемое, когда испытуемый стоит прямо и смотрит вперед.

При определении минимальной высоты дверных проемов и дверей, располагаемых над головой конструкций эти измерения должны удовлетворять потребности 99 % пользователей, соответственно 99-му процентилю.

Среди представителей различных национальных групп разница в росте весьма значительна — от 160,5 см у вьетнамцев до 179,9 см у бельгийцев. Диапазон составляет 19,4 см.

Впечатляющим примером этнического разнообразия является сравнение роста самых низких и высоких из обследованных мужчин. У пигмеев Центральной Африки средний рост равен 143,8 см, в то время как у самых высоких — северных нилотов из Южного Судана — он достигает 210 см.

Интересный факт: Человеческое тело динамично по своей природе. В невесомости наблюдаются изменения роста, в отсутствии гравитации за первые дни полета рост космонавтов увеличивается на 5 см.

**Рост, сидя прямо** — это вертикальное расстояние от поверхности сиденья до макушки сидящего.

Это измерение помогает определить допустимую высоту размещения конструкций над сиденьем. Знание этих цифр необходимо при проектировании двухъярусных кроватей, верхних полок в поезде, автомобиля.

*В разработках, где самым важным соображением является это расстояние, должен применяться 95-й процентиль. Логика проста: если дизайн создаст достаточное пространство для пользователя с большими параметрами тела, то его хватит и для тех, у кого габариты меньше.*

**Досигаемость большого пальца руки** — это расстояние от стены до крайней точки большого пальца, измеренное, когда плечи испытуемого прижаты к стене, рука вытянута вперед.

Эти данные позволяют точнее всего определить максимальное расстояние до проектируемого оборудования из положения сидя или стоя.

*Пример такой дизайнерской задачи — шкафчики над рабочей поверхностью или полки над столом в офисе. Здесь учитываются интересы пользователей с наименьшими показателями досягаемости, т. е. 5-го процентиля.*

**Расстояние от ягодицы до колена** — это горизонтальное расстояние от задней поверхности ягодицы до передней поверхности коленной чашечки.

Эти данные полезны для определения оптимального расстояния спинки сиденья до физического препятствия или объекта, расположенного перед коленями. Например, жестко фиксированные на полу сиденья в аудиториях, театрах, автобусах конструируются с учетом этого параметра. Наличие расстояния — ключевой фактор, поэтому необходимо использовать данные 95-го процентиля.

*Пример плохого конструирования — маршрутное такси. Здесь преследуется другая цель — максимальное количество посадочных мест.*

**Расстояние от ягодицы до подколенной ямки** — это горизонтальное расстояние от задней поверхности ягодицы до задней поверхности голени.

Эти данные полезны для разработки дизайна сидений, скамеек, банкетов и определения глубины сидения. Принимают в расчет данные 5-го процентиля, так как они подойдут наибольшему числу пользователей.

*Если глубина сиденья слишком велика, его край врежется в область за коленями, вызывая дискомфорт и проблемы с кровообращением.*

**Расстояние между локтями** — это поперечное расстояние, измеряемое между согнутыми и слегка прижатыми к туловищу локтями, при этом предплечья расположены вертикально. Эти цифры соотносят с параметрами ширины плеч.

Эти данные полезны для проектирования учебных столов, столов переговоров, обеденных столов. Поскольку наличие расстояния — ключевой фактор, необходимо использовать данные 95-го процентиля.

**Ширина бедер в положении сидя** — это ширина тела, измеренная в самой широкой части бедер в положении сидя.

Эти данные чрезвычайно важны для определения допусков внутренней ширины стульев, кресел, табуретов у барных стоек и прилавков, офисных кресел. Наличие расстояния — ключевой фактор, поэтому необходимо использовать данные 95-го процентиля.

*В зависимости от конкретной дизайнерской задачи, эти данные необходимо комбинировать с цифрами расстояния между локтями и ширины плеч, так как к сиденью часто добавляют подлокотники.*

**Высота колена** — это вертикальное расстояние от пола до середины коленной чашечки. Необходимо учитывать высоту сиденья и его мягкость.

Эти данные незаменимы при определении расстояния от пола до нижней части крышки стола, прилавка. Для обеспечения пространства нужны данные 95-го процентиля.

**Высота подколенной ямки** — это вертикальное расстояние от пола до нижней поверхности бедра в точке позади колена, когда испытуемый сидит прямо. При этом колени и лодыжки перпендикулярны полу, а нижняя поверхность бедра и подколенной ямки едва касаются стула. Здесь также учитывается мягкость сиденья. Эти данные незаменимы при определении высоты сиденья над полом, особенно высшей точки переднего края сиденья. Определяя высоту сиденья, надо принимать в расчет данные 5-го процентиля.

*Когда сиденье расположено слишком высоко, нижняя поверхность бедра испытывает сжатие, кровообращение затрудняется. Кроме того, подошвы ног не касаются поверхности пола, тем самым уменьшая устойчивость тела. Минимальная высота сиденья устроит пользователя с большой высотой подколенной ямки — он может вытянуть ноги вперед.*

**Высота бедра в положении сидя** — это вертикальное расстояние от поверхности сиденья до верхней поверхности бедра, в той точке где бедро соприкасается с животом.

Эти данные незаменимы при дизайне прилавков, медицинского оборудования, письменных столов, мольбертов, столярных столов или других предметов мебели, за которыми пользователь сидит, расположив ноги под рабочей поверхностью. Эти параметры позволяют рассчитать высоту любой выдвигаемой поверхности или ящика. Поскольку наличие расстояния — ключевой фактор, необходимо использовать данные 95-го процентиля.

**Вес тела** также необходимо учитывать, например при проектировании кабин лифтов, подиумов, мебели, качелей и др.

В табл. 10.1 приведены цифровые данные, которые получены на основе многочисленных антропометрических обследований, проведенных зарубежными специалистами. Приведенные размеры не являются характерными для конкретной народности или профессии и могут использоваться конструкторами при решении вопросов, касающихся взаимосвязи человек-машина. Антропометрические данные помогают целесообразно решить формы и размеры промышленных изделий, оборудования, органов управления с учетом анатомической структуры, физиологических возможностей и особенностей человека, обслуживающего эти изделия или пользующегося ими; создать удобные захватные детали органов управления и обеспечить правильное манипулирование ими, оптимальную досягаемость в рабочей зоне, условия использования соответствующей одежды, средств защиты и т. д. Эргономика, используя основные антропометрические данные человеческого тела, способствует тому, чтобы размеры технического оборудования строго соответствовали антропометрическим параметрам, что создает условия для максимальной эффективности труда, повышения качества, безопасности работы и снижения травматизма на производстве.

Таблица 10.1

## Антропометрические данные (в см)

Обозначение размера	Наименование размера	Мужчина				Женщина			
		m-2s	m	m+2s	%	m-2s	m	m+2s	%
A	Высота стоящей фигуры (без обуви)	163	175	187	100	153	165	177	100
B	Высота уровня глаз стоящего человека	153	164	176	94	143	154	165	93
C	Высота плеча стоящего человека	134	144	154	82	124	134	144	81
D	Высота локтя над полом стоящего человека	101	108	116	62	65	103	110	62
E	Высота колена у стоящего человека	47	51	54	29	46	49	53	30
F	Размах рук	173	186	198	106	153	165	177	100
G	Расстояние от кончиков пальцев вытянутой руки до спины	80	86	92	49	66	71	76	43
H	Расстояние от кончиков пальцев до вытянутой руки	44	48	51	27	40	43	46	26
I	Ширина плеч	42	46	49	26	37	40	42	24
K	Толщина туловища	21	23	24	13	23	25	27	15

Обозначение размера	Наименование размера	Мужчина				Женщина			
		m-2s	m	m+2s	%	m-2s	m	m+2s	%
L	Ширина бедра	29	32	34	18	32	34	37	21
M	Высота головы над сиденьем	83	90	95	51	78	84	90	51
N	Уровень глаз над сиденьем	73	79	74	45	68	73	78	44
O	Высота плеч над сиденьем	55	60	63	34	50	54	58	33
P	Высота от локтя над сиденьем	21	23	24	13	20	21,5	23	13
R	Расстояние от колена сидящего человека до ягодиц	57	61	65	35	52	56	60	34
S	Длина сиденья (нижней части бедра)	44	48	51	27	43	46	49	28
T	Высота сиденья над полом	42	45	49	26	40	43	46	25
U	Высота бедра сидящего человека	12	13	14	7,5	13	14	15	8,5
V	Длина стопы	25	27	29	15,5	23	25	27	15
X	Ширина стопы	9,5	10	10,5	5,7	8,5	9	9,5	5,5
Y	Длина кисти	18	19	21	11	16	17,5	18,5	10,5
Z	Высота кисти	9	9,5	10,5	5,5	7,5	8	8,5	4,8

## 10.2. Организация рабочего места оператора

Человек является основным критерием качества конструкций или изделий. Рабочее место, решенное с учетом основных размеров обслуживающего оборудование человека, снижает физическую нагрузку. Рабочее место, спроектированное без учета антропометрических параметров, способствует быстрой утомляемости организма в процессе работы, что снижает производительность труда. Поэтому конструктор и проектировщик, разрабатывая рабочее место для оператора, обслуживающего станок (оборудование) или орган управления, должны прежде всего принимать во внимание основные размеры человеческого тела, т. е. иметь необходимые знания в области антропометрии.

Применяя антропометрический принцип при усовершенствовании технического оборудования, следует исходить из того, кто будет работать на данном оборудовании (станке): мужчина или женщина, какая именно антропометрическая пропорция фигуры соответствует женщинам нормального роста (165 см) и мужчинам нормального роста (175 см).



*Общие положения.* Под рабочим местом оператора (группы операторов) понимается зона трудовой деятельности оператора (группы операторов) в СЧМ, оснащенная техническими средствами и вспомогательным оборудованием, необходимыми для осуществления функций контроля и управления системой и объектом. Целью организации рабочего места является оптимизация условий трудовой деятельности, обеспечивающих максимальную эффективность и надежность работы оператора (группы операторов).

Главным функциональным элементом рабочего места оператора автоматизированных систем управления (АСУ) являются панели, на которых размещаются средства отображения (индикации) информации и органы управления.

В зависимости от основных функций, выполняемых операторами с помощью панелей индикации и управления, рабочие места можно классифицировать следующим образом:

- 1) оперативного управления (предназначено для решения задач управления, выдачи команд, распоряжений и т. п.);
- 2) информационно-справочное (служит для запроса и получения справок о состоянии системы в целом или ее отдельных звеньев, а также для формирования, передачи и приема символической или графической информации);
- 3) ручного ввода информации (предназначено для оперативного ввода символической или графической информации);
- 4) функционально-технологического контроля (обеспечивает оперативный функциональный контроль за исправностью технических средств и каналов связи АСУ);
- 5) программиста ЭВМ (служит для связи оператора с вычислительными машинами, а также для отладки машинных программ);
- 6) комбинированное (представляет собой рабочее место смешанного типа с совмещением функций, перечисленных выше).

В зависимости от конструктивного выполнения рабочие места могут иметь следующие формы (в плане): прямые, Г-образные, П-образные, трапецевидные, многогранные.

Как правило, базовая конструкция всех типов рабочих мест должна быть единой, позволяющей наращивать дополнительные устройства и формировать новые рабочие места операторов применительно к выполняемым функциям. Широкое внедрение АСУ обуславливает необходимость разработки типовых проектных решений отдельных элементов и рабочего места оператора в целом.

Технические средства, определяющие состав рабочего места, подразделяются на несколько групп. Основные из них — средства отображения и средства управления.

При организации рабочих мест операторов следует руководствоваться государственным стандартом (ГОСТ 16456–70 «Качество продукции. Эргономические показатели. Номенклатура»), который содержит 23 эргономических показателя. Он предназначен для определения совокупности эргономических показателей качества различных изделий и объектов (рабочих мест; пультов управления и контроля; мнемосхем; приборов и сигнализаторов; циферблатов и указателей приборов; надписей и без текстовых обозначений или символики; ручных и ножных органов управления и др.). Комплексные эргономические показатели качества промышленных изделий подразделяются на четыре группы: гигиенические, антропометрические, физиологические и психофизиологические; психологические.

Группа гигиенических показателей включает следующие: освещенность, вентилируемость, температуру, влажность, давление, напряженность магнитного поля, запыленность, радиацию, токсичность, шум, вибрацию, гравитационные перегрузки и ускорения.

Группа антропометрических показателей определяет соответствие изделия размерам и форме тела, а также распределению веса человека.

Физиологические и психофизиологические показатели характеризуют соответствие изделия силовым, скоростным, энергетическим, зрительным, слуховым и другим психофизиологическим возможностям человека.

Группа психологических показателей включает: соответствие изделия закреплённым и вновь формируемым навыкам человека, а также возможностям восприятия и переработки информации человеком.

*Общие эргономические требования.* При конструировании рабочих мест необходимо соблюдать следующие основные условия:

- достаточное рабочее пространство для оператора, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и техническом обслуживании оборудования;
- достаточные физические, зрительные и слуховые связи между операторами и оборудованием, а также между операторами;
- оптимальное размещение рабочих мест в помещениях для оперативной работы, а также безопасные и достаточные проходы для операторов;
- оптимальное размещение оборудования (главным образом средств отображения информации и органов управления), благодаря чему обеспечивается удобное положение оператора при работе;
- четкое обозначение органов управления, индикаторов и других элементов оборудования, которые нужно находить, опознавать и которыми приходится манипулировать (маркировка не требуется для органов

управления или оборудования, назначение которых очевидно для оператора);

- необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения оперативных задач, технического обслуживания или тренировок;
- оптимальное распределение яркостей в поле восприятия (величина и равномерность внешнего освещения, цвет поверхности панели и несветящихся индикаторов, яркость светящихся индикационных устройств);
- допустимый уровень акустического шума и вибрации, создаваемых оборудованием рабочего места или другими источниками шума и вибрации;
- достаточную простоту и быстроту сборки и разборки оборудования;
- исключение возможности неправильной установки, замены и монтажа блоков или элементов оборудования, а также неправильной идентификации, ориентации и расположения кабелей и разъемов;
- наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков, предупреждающих об опасностях, которые могут возникнуть при работе, и указывающих на необходимые меры предосторожности;
- необходимые опоры и подставки для временного размещения вынутых блоков или элементов оборудования, а также для испытательного оборудования, приборов, инструментов и технических руководств;
- надежную индикацию для случаев отказа электрического питания, а также отказа оборудования или его функционирования с выходом за допустимые пределы.

В особых случаях должны быть предусмотрены необходимые средства защиты персонала от радиационной, термической, токсической, электромагнитной и других опасностей.

При конструировании и размещении рабочих мест следует предусматривать меры, предупреждающие или снижающие преждевременное утомление оператора, предотвращающие возникновение у него психофизиологического стресса, а также появление ошибочных действий.

Конструкция рабочего места должна обеспечивать быстроту, безопасность, простоту и экономичность технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях; полностью отвечать функциональным требованиям и предполагаемым условиям эксплуатации. Она должна быть такой, чтобы эксплуатацию, техническое обслуживание или ремонт оборудования рабочего места мог производить персонал, имеющий минимальную подготовку.

При организации рабочего пространства необходимо учитывать основные антропометрические и биомеханические данные именно того контингента лиц, которым предстоит эксплуатировать рабочее место.

Важнейшими характеристиками рабочего пространства являются зоны досягаемости. Под досягаемой зоной понимается та часть пространства, которая ограничена крайними точками, достигаемыми руками и ногами оператора, сохраняющего свое положение неизменным. Досягаемая зона может быть максимальной, т. е. ограниченной длиной конечностей человека, отклонившегося в пределах сохранения устойчивости. Оптимальная зона — это часть пространства, находящаяся в пределах досягаемости середины ладони или пяты (там, где воображаемая ось нижней конечности выходит из ступни), при основном исходном положении тела оператора.

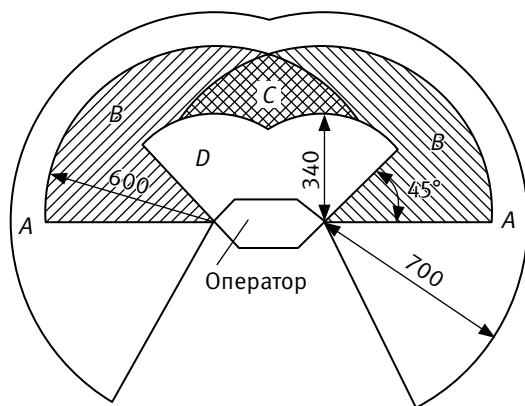


Рис. 10.1. Зоны досягаемости в горизонтальной плоскости

Зоны досягаемости в горизонтальной плоскости представлены на рис. 10.1, где выделены зоны легкой досягаемости (*B, C, D*) и зона максимальной досягаемости (*A*). В зонах (*B, D*) возможны наиболее быстрые, точные, координированные и наименее утомляющие движения. Сектор досягаемости для каждой руки имеет угол  $180^\circ$ . Оптимальному рабочему пространству соответствует зона *D*.

При организации рабочего пространства нужно учитывать:

- степень подвижности оператора (работа «сидя», «стоя» или «сидя-стоя»);
- конфигурацию и способ размещения панелей индикаторов и органов управления;
- потребность в обзоре рабочего места (пульта);
- необходимость использования рабочей поверхности для письма или других работ, для установки телефонных аппаратов, а также хранения инструкций и других материалов, используемых операторами или обслуживающим персоналом;
- пространство для ног и ступней оператора при работе «сидя».

При работе оператора в положении «сидя» рекомендуются следующие параметры рабочего пространства: ширина — не менее 700 мм; глубина — не менее 400 мм; высота рабочей поверхности стола (столешницы) над полом 700–750 мм. Высота рабочей поверхности зависит от высоты кресла оператора. Рекомендуемое расстояние между высотой рабочей поверхности и кресла оператора 270–280 мм. Если требуется иметь поверхность для письма, глубина ее должна быть не менее 400 мм, а ширина — не менее 600 мм. Под рабочей поверхностью должно быть предусмотрено пространство для ног: высота — не менее 600 мм, ширина — не менее 500 мм, глубина — не менее 400 мм. При необходимости обзора рабочего места (пульта) высота его не должна превышать 1200 мм.

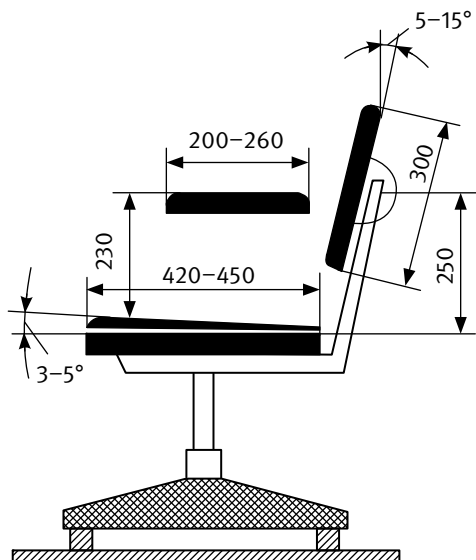


Рис. 10. 2. Кресло оператора

Кресло оператора (рис. 10.2) должно иметь высоту сидения в пределах от 400 до 550 мм. Высота кресла оператора определяется длиной ног сидящего человека, а следовательно, ростом, который зависит от длины ног, а не от длины туловища. Угол отклонения спинки кресла к поверхности сидения рекомендуется от 100 до 115°. Рекомендуемые размеры кресла: ширина сидения 450–550 мм; глубина 420–450 мм; ширина подлокотников не менее 50 мм; длина не менее 200 мм; высота над поверхностью сидения 200–250 мм. Обивка кресла должна быть гигиеничной — воздухопроницаемой и гигроскопичной.

Организация рабочего места, в которое включается регулируемое по высоте кресло оператора, позволяет сузить диапазон высот рабочих поверхностей,

причем предпочтительнее рабочие поверхности более высокие, так как человеку небольшого роста при регулируемой высоте кресла оператора легче приспособиться к соответствующей высоте рабочей поверхности, сохраняя расстояние между высотой рабочей поверхности и кресла оператора, равным 270–280 мм, и в случае необходимости пользоваться подставкой для ног. При выборе размеров рабочего места следует учитывать пороги различения линейных и угловых параметров. При конструировании оборудования рабочего места допустимые отклонения от основных оптимальных линейных и угловых параметров должны быть не более: а) 10 мм для высоты рабочей поверхности; б) 15 мм для высоты рабочего сиденья; в)  $2^\circ$  для наклона рабочей поверхности; г)  $2^\circ$  для наклона сиденья.

При проектировании помещений для рабочих мест следует рассчитывать их размещение относительно друг друга. По отношению к средствам отображения информации коллективного пользования (экранам, табло, планшетам) рабочие места размещаются таким образом, чтобы угол наблюдения в горизонтальной плоскости составлял не более  $45^\circ$  к нормали экрана (табло), если экран плоский. Наилучшие условия наблюдения создаются в том случае, если угол обзора равен  $30^\circ$  ( $\pm 15^\circ$  к нормали экрана).

При необходимости размещать рабочие места в несколько рядов каждый последующий ряд должен быть выше предыдущего не менее чем на 130 мм. Проходы между рабочими местами должны иметь ширину, позволяющую людям разминуться (средняя ширина прохода — 900 мм, минимальная — 700 мм).

Организация рабочего места оператора зависит от способа представления информации. Под оптимальным способом понимается такой, который позволяет получить максимальную скорость, надежность и точность решения человеком оперативных задач, позволяет осуществить его реализацию наиболее выгодными с технико-экономической точки зрения средствами (малые габариты, простота конструкции, простота схем управления, низкая стоимость и т. п.).

Требования к средствам отображения информации формулируются на основании их назначения и особенностей отображаемой информации. При выборе и конструировании средств отображения (индикаторов) для рабочего места следует руководствоваться следующими общими принципами представления информации, которая должна:

- подаваться своевременно и быть ограниченной в количественном отношении тем, что необходимо оператору для принятия решений и выполнения определенных действий;
- отображаться только с такой точностью и степенью детализированности, какая требуется оператору;

- отображаться в форме, непосредственно пригодной для использования (должна быть исключена необходимость различных вычислений или преобразований в другие единицы);
- отображаться с достаточной степенью наглядности;
- в необходимых случаях не только отражать состояние объекта, но и указывать возможные пути решения оперативных задач.

Основные характеристики индикаторов, определяющие процесс зрительного восприятия, следующие:

- 1) пространственное положение относительно наблюдателя;
- 2) угловой размер;
- 3) яркость и яркостный контраст;
- 4) цвет и цветовой контраст;
- 5) время действия на рецептор.

Индикаторы следует располагать таким образом, чтобы обеспечивать оптимальный зрительный поиск. Все индикаторы, предназначенные для обеспечения определенных действий оператора, группируются и располагаются относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов системы, которые они представляют (например, на мнемосхемах). Они размещаются последовательно в пределах групп так, чтобы их можно было наблюдать слева направо или сверху вниз. Лицевые поверхности индикаторов следует располагать (где это возможно) в плоскости, перпендикулярной нормальной линии зрения; допустимо отклонение от этой плоскости не более чем на  $45^\circ$ .

Индикаторы, используемые наиболее часто, а также наиболее важные индикаторы следует размещать в оптимальной зоне видимости, в пределах угла  $15^\circ$  от нормальной линии зрения. Индикаторы рекомендуется располагать на равных (или несущественно различающихся) расстояниях от оператора.

Минимальное расстояние наблюдения индикаторов, за исключением индикаторов на ЭЛТ, должно составлять 30 см, рекомендуемое расстояние — не менее 50 см. Для индикаторов радиолокационной информации на ЭЛТ рекомендуется расстояние наблюдения, равное 40 см, а для случаев наблюдения слабых сигналов — это расстояние можно уменьшить до 25 см.

При цветовом кодировании следует использовать:

- красный цвет — для оповещения оператора о том, что выполнение задачи невозможно («отказ», «неисправность», «ошибка» и т. п.);
- мигающий красный цвет (3–5 Гц при равной длительности вспышек и интервалов между ними) — только для обозначения аварийной ситуации;

- желтый — для указания предельных ситуаций, требующих особого внимания и настороженности оператора;
- зеленый — для указания нормального состояния контролируемого оборудования и возможности продолжать работу («готово», «функция включена» и т. п.);
- белый — для указания стандартных «рабочих» состояний системы («функция выполняется» и т. п.).

Синий цвет по возможности следует избегать.

Слуховые индикаторы (устройства звуковой сигнализации, оборудование для приема речевой информации и т. п.) конструируются таким образом, чтобы не причинять неудобств оператору и чтобы руки у него оставались свободными.

При организации рабочего места важно учитывать факторы, оказывающие влияние на организацию исполнительной деятельности оператора: размеры моторного поля; величину, форму, сопротивление и направление движения органов управления; их опознавательные признаки; порядок размещения и информационную значимость воздействия органов управления на систему.

При выборе, конструировании и размещении органов управления следует руководствоваться следующими общими принципами:

- органы управления выбираются и размещаются таким образом, чтобы ни одна рука оператора не была перегруженной;
- все органы управления, которые связаны с определенной последовательностью действий или которыми манипулируют совместно, соответствующим образом группируются; при этом они располагаются так, чтобы облегчить работу оператора (действия слева направо и сверху вниз);
- наиболее важные и часто используемые органы управления удобно размещаются в зоне легкой досягаемости;
- расположение функционально идентичных или однородных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочих мест данной системы;
- обеспечивается соответствие между перемещением органов управления и вызываемыми ими эффектами;
- органы управления должны оказывать определенное сопротивление внешним воздействиям;
- органы управления окрашивают в черный или серый цвет; если требуется цветовое кодирование, то рекомендуются красный, зеленый, желто-оранжевый, белый цвета; синий используется только в том случае, если нужен дополнительный цвет.



Если органы управления связаны с индикаторами, эта связь должна быть для оператора очевидной и однозначной. Органы управления размещаются рядом с соответствующим индикатором так, чтобы ни сам орган управления, ни рука при манипуляциях с ним не закрывали индикатора. Функционально связанные органы управления и индикаторы располагаются вблизи друг друга функциональными группами. Эти группы очерчиваются хорошо заметными линиями. На панелях серого цвета для очерчивания функциональных групп, связанных с аварийными или наиболее важными действиями, рекомендуется применять красные линии шириной 4–5 мм. При красном освещении линии должны иметь желто-оранжевый или черный цвет.

Задача оптимальной организации рабочего места является одной из важнейших при проектировании деятельности оператора в современных АСУ. Приведенные в данном параграфе общие эргономические требования указывают лишь ориентировочные направления решения задачи проектирования рабочего места. На основании результатов эргономического анализа деятельности оператора на каждом конкретном рабочем месте необходимо использовать различные принципы и рекомендации, описанные в других главах.

## Контрольные вопросы

1. Приведите основные антропометрические характеристики человека.
2. Что такое процентиль и как он используется в эргономике?
3. Как осуществляется организация рабочего места оператора?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
2. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
3. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
4. Стрелков Ю. К. Практикум по инженерной психологии и эргономике / Ю. К. Стрелков. — М. : Академия, 2003. — 400 с.

## Глава 11

# Автоматизированное моделирование процесса взаимодействия человека и машины

Развитие методического арсенала эргономики побуждает вспомнить программу радикального изменения эксперимента в эргономике, которую еще в 1962 г. предложил американский ученый Дж. Ликлайдер и которая рассматривалась в то время как нереальная. Программа, призванная обеспечить максимальное соответствие эксперимента практике создания систем с ее жесткими ограничениями по времени проведения соответствующих работ, сводилась к разработке:

- 1) автоматических методов исследования;
- 2) принципиально новых и более эффективных способов планирования эксперимента;
- 3) таксономии функций систем человек-машина;
- 4) программ для ЭВМ, моделирующих системы человек-машина.

### 11.1. Необходимость автоматизации эргономического проектирования

Эффективным средством эргономического проектирования становятся автоматизированные системы проектирования (САПР), состоящие из ЭВМ, графических устройств ввода-вывода и разнообразных пакетов программного обеспечения. Автоматизированные системы эргономического проектирования развиваются под воздействием и в  $i$  русле общего процесса автоматизации проектирования. По мере совершенствования программных и аппаратных средств вычислительной техники, интерфейса человек-САПР все большее число задач эргономического проектирования решается с применением указанных систем.

Конкуренция на рынках сбыта побуждает промышленные предприятия сокращать сроки проектирования и производства изделий при одновременном повышении их качества. Поиски путей решения названных задач стимулируют развитие и применение систем автоматизированного проектирования, в том числе и эргономического.

Удовлетворительный анализ бесконечного числа различий в строении человеческого тела и учет всех возможных перемещений можно провести только при помощи автоматизации. Автоматизированные системы эргономического проектирования сопряжены с банками эргономических данных. Такие банки созданы в США, Германии, Франции и других странах. Работы по созданию банков эргономических данных и знаний велись в СССР, а также в странах-членах СЭВ. В целом ряде стран исследования и разработки в этом направлении проводились по заказам военных ведомств, и поэтому до последнего времени о них имелось мало сведений.

Основной целью таких работ является формирование единых источников, содержащих тщательно проверенные данные антропометрических измерений и количественные показатели (и различные зависимости между ними) психофизиологических возможностей и особенностей человека, для использования их в проектировании, разработке и оценке машин, оборудования, производственной среды, систем управления, промышленных изделий, а также при строительстве зданий. Не менее важной целью является повышение уровня эргономических исследований путем разработки стандартов на условия проведения экспериментов, процедуры, методы и показатели, а также на формы представления получаемых результатов.

Во Франции на базе лаборатории антропологии и экологии человека Парижского университета им. Р. Декарта функционирует банк биометрических данных «Эргодата». Банк включает антропометрические данные как французского населения, так и населения других европейских стран. Создание банка стимулировалось необходимостью в эргономической проработке все более усложняющихся систем и оборудования на ранних этапах проектирования. Это, в свою очередь, потребовало учета различных антропометрических характеристик тех групп населения, которые будут работать на этом оборудовании. Кроме того, необходим учет антропометрических характеристик населения тех стран, куда предполагается экспортировать оборудование.

Антропометрические характеристики, накопленные банком биометрических данных, позволяют вычислять для каждого человека наиболее вероятные величины размеров, которые не были замерены экспериментальным путем. Кроме того, возможно реконструировать полный набор антропометрических

характеристик репрезентативной выборки пользователей конкретного оборудования, даже если первоначально имелись некоторые размеры, чаще всего только вес и рост. Данные четко определены и выражены в сжатой форме с целью сокращения времени запроса, включая и возможность речевого общения с банком.

Банк данных содержит информацию, которая может использоваться не только при разработке систем и оборудования, но и общественного транспорта, потребительских изделий.

## 11.2. Примеры эргономических пакетов и их применение

Одним из удачных пакетов является пакет Sammie, с помощью которого можно построить объемную модель рабочего места, разместить оператора внутри рабочего места, показать модель разными способами, модифицировать модель и получить оценку качества решения. Моделями можно манипулировать на экране дисплея для получения необходимых оценок физическое взаимодействие человека и рабочего места или оценок действия человека при решении производственной задачи. Пакет Sammie можно также использовать для изучения человеко-машинных взаимодействий в робототехнических комплексах.

Основой системы Sammie является иерархическая структура данных, которая позволяет создавать объемную модель, описывающую рабочее место, запечатлеть это описание, модифицировать и выводить его на экран. С помощью такой структуры данных можно:

- построить объемную модель рабочего места;
- разместить человека — оператора внутри рабочего места;
- показать модель различными способами;
- модифицировать модель в интерактивном режиме работы и получить оценку качества решения.

Модель человека может быть основана на любых доступных данных о населении региона. Длина частей тела и форма тела различны для разных групп населения, поэтому необходимо иметь возможность моделировать различные типы телосложения. На число возможных положений модели влияет также число физически возможных перемещений суставов конечностей человека (подвижность суставов).

Основные характеристики конструкции, проверяемые с помощью пакета Sammie: обзор, досягаемость, доступ и рабочая поза. Например, пакет позво-

ляет выводить изображение рабочего места так, как его видит водитель. Кроме этой возможности, можно путем наложения регулярной сетки на видимую область модели легко определить места появления световых бликов. Следующая возможность — получение «зеркального вида» отраженного изображения, которое может наблюдать водитель в зеркале заднего вида.

Тесты на досягаемость могут потребоваться при проверке расположения точек на конструкции или размещения поверхности. По результатам проверки можно определить, насколько удачно расположен тот или иной объект в исследуемой области. Примером может служить проверка на досягаемость приборов на панели управления транспортным средством.

С помощью пакета Sammie можно определить доступность рабочего места — определение максимальной комплектации водителя, т. е. каким телосложением должен обладать водитель, чтобы он смог управлять машиной.

Эргономические пакеты могут использоваться для исследования широкого спектра конструкций различного назначения. Конкретно пакет Sammie был использован в следующих областях:

- средства передвижения (электрокары, автобусы, кабины грузовых автомобилей, кабины самолетов и электровозов, внутреннее оборудование вертолетов, космические корабли);
- управление роботами и определение их размещения;
- погрузка материалов (погрузчики, краны, грузовые подъемники);
- производство (установка сборочной линии, размещение горной техники);
- оборудование помещений (размещение мебели в конторах, залах управления и в кухнях).

### 11.3. Использование виртуальной реальности в САПР и эргономике

Начало развитию средств виртуальной реальности было положено в исследованиях, проводившихся в рамках создания летных тренажеров. Соответственно первые приложения новой компьютерной технологии были связаны с имитацией функционирования летательных аппаратов, космических кораблей, автомобилей и других сложных систем. Интенсивное развитие аппаратных средств, их общее удешевление способствовали более широкому распространению систем виртуальной реальности. Сегодня наряду с тренажерами, компьютерными играми, кино и анимацией виртуальная реальность используется в САПР. Узким местом в создании новых изделий может оказаться этап,

связанный с изготовлением и тестированием опытных образцов или макетов. Одним из эффективных средств является применение систем виртуального макетирования.

Виртуальный прототип — это интегрированное цифровое представление изделия и его свойств, которое отражает пространственное взаимодействие компонентов и позволяет оценить работоспособность конструкции в целом. Виртуальный макет формируется по данным главной модели.

Система виртуального макетирования Virtual Mockup входит в состав пакета EDS Unigraphics и включает несколько функциональных модулей.

Модуль UG/Reality предназначен для моделирования поведения виртуальных макетов изделий, процессов сборки и обслуживания узлов. Пользователи имеют возможность программировать поведение макета, определяя его реакцию на действие различных органов управления: функциональные кнопки, переключатели, индикаторы и т. д.

Модуль UG/Manikin представляет средства анимации виртуальных людей. Он расширяет возможности UG/Reality и позволяет моделировать поведение оператора, обслуживающего проектируемое изделие, или рабочего, выполняющего сборку-разборку узлов. С помощью манекенов можно определять границы сферы обзора и доступность участков крепежа деталей, анализировать технологию монтажа и эксплуатации проектируемых устройств. Пользователь может также управлять поведением манекенов, которые доступны для визуализации средствами модулей динамической визуализации.

Крупнейшим пользователем UG является General Motors. Так, одно из его подразделений, специализирующееся на выпуске железнодорожных локомотивов, использует пакет с 1992 года. Применение средств автоматизации позволило сократить срок разработки новых моделей тепловозов и электровозов. При проектировании локомотивов учитываются не только технические, но и весьма жесткие эргономические требования.

Компания Mechanical dynamics Inc (MDI) известна как разработчик программного комплекса имитационного моделирования механических систем ADAMS. Программные продукты компании MDI предоставляются в виде специализированных модулей.

Модуль ADAMS/Driver — модуль имитационного моделирования действий водителя по управлению автомобилем. Позволяет моделировать операции с рулевым управлением, педалями газа, торможения и сцепления, переключение передач, а также вызванные ими маневры автомобиля, определяет углы поворота рулевого колеса, положения педалей газа и сцепления, силу на педали тормоза, номер передачи. Может быть адаптирован к специфике динамиче-

ских характеристик конкретного изделия и применяться при разработке пассажирских и гоночных автомобилей, легких и тяжелых грузовиков.

Модуль ADAMS/Android — модуль создания графической модели человеческого тела. Позволяет формировать реалистичную динамическую модель человеческого тела, будь то водитель или пассажир в автомобиле, оператор у рычагов управления или дети с родителями на карусели. Используется при изучении взаимодействия в комплексной системе человек-машина для анализа эргономики изделий, из безопасности и комфортабельности. Используя базу данных типовых характеристик человеческого тела, ADAMS/Android автоматически создает модель тела мужчины, женщины, ребенка. Пользователь также может задать конкретные размеры частей тела. В суставах могут быть заданы движения, зависящие от времени, и приложены силы, зависящие от времени и перемещения.

### ***Перспективы применения моделирования виртуальных реальностей в эргономическом проектировании***

Принципиально новые возможности для эргономического моделирования и проектирования открываются с созданием мира виртуальной реальности. Когда в физике элементарных частиц были обнаружены частицы, возникающие только в акте взаимодействия других частиц, они были названы виртуальными (от англ. virtual — фактически, действительно). На основании анализа работ, посвященных изучению феномена виртуальной реальности, выделяют три наиболее характерные ее особенности. Виртуальная реальность продуцируется активностью какой-либо другой реальности, внешней по отношению к ней. Поэтому ее называют искусственной, или сотворенной, порожденной. Виртуальная реальность существует только «здесь и теперь». Возможность взаимодействия со всеми другими реальностями, в том числе и с порождающей, как независимыми друг от друга — еще одна особенность виртуальной реальности.

Разработка нового поколения ЭВМ и новых принципов моделирования позволила моделировать виртуальные реальности. В основе каждого прикладного случая виртуальной реальности — база данных, используемая компьютером для создания и демонстрации графических программ. Однако, в отличие от других графических программ, ВР-компьютер посредством приводов, присоединенных к шлему и перчаткам, улавливает движение головы и тела человека и соответственно регулирует наблюдаемый им мир. Пользуясь перчаткой, джойстиком, мышью или другими устройствами, человек взаимодействует с образами на экране, преодолевает чувство недоверия, а создаваемое зрелище приобретает характер реальности. Конечная цель виртуальной реальности

заключается в том, чтобы у пользователя возникло ощущение реальности созданного компьютером мира и его нахождения в нем. Термин «виртуальная реальность» предложен в начале 80-х годов.

*Controller фирмы LogiTech) и шлем (VFX1 фирмы Forte Technologies).* Сочетание виртуального видения с физической обратной связью открывает широкие возможности для применения в эргономических исследованиях и проектировании. Демонстрируя последние достижения виртуальной реальности, инженеры компании «Боинг» в Сиэтле создали имитатор-тренажер самолета. Надев «виртуальные» шлем и перчатки, можно открыть ремонтный люк, чтобы проверить механические узлы, заглянуть в кабину и грузовой отсек, изучить расположение систем управления и пассажирских мест. В перспективе «Боинг» планирует внедрить ВР в компьютеризированные конструкторские отделы. Это позволит — еще до сборки самолета — расположить, например, все функциональные узлы в пределах досягаемости на случай ремонта. В Токио в специальном демонстрационном зале покупатели надевают очки и перчатки, чтобы «подобрать» и «обставить» ВР-кухню на свой вкус. Заказчики могут открыть шкафы и сами убедиться, устраивает ли их расположение мебели. Если нет, заказчик вносит изменения, и компьютер выдает подробные эскизы для удовлетворения запросов заказчика.

В дальнейшем применение ВР сулит новые, подчас неожиданные эргономические решения.

## Контрольные вопросы

1. Почему возникла необходимость автоматизации эргономического проектирования?
2. Приведите примеры эргономических пакетов и их применения.
3. Охарактеризуйте использование виртуальной реальности в САПР и эргономике.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
2. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.



## Раздел 3

# ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ЭРГОНОМИКА

## Глава 12

# Коллективная деятельность операторов

### 12.1. Взаимодействие операторов в группе

Как отмечалось ранее, одной из важнейших тенденций современной техники является развитие так называемых больших и сверхбольших систем (например, единая система связи, транспорта, единая энергетическая система и т. д.). Такие системы характеризуются огромным количеством составляющих их систем и подсистем, сложной структурой, колоссальными потоками циркулирующей информации, высоким уровнем автоматизации. В управлении ими участвует большое число всевозможных коллективов людей. В этой связи перед эргономикой возникает задача изучения не только взаимодействия человека и машины, но и взаимодействия между операторами (и группами операторов). Надежность и эффективность сложных систем существенно зависят от согласованности действий операторов, т. е. от их совместной групповой деятельности. При этом следует иметь в виду, что процесс управления техникой — это не простая сумма параллельных деятельностей, выполняемых операторами независимо друг от друга. Его существенным моментом является взаимосвязь и взаимодействие операторов.

Наибольший интерес представляет изучение этих процессов в малой группе. Ею называется совокупность людей, объединенных в пространстве и времени, совместно решающих ту или иную задачу (выполняющих определенную деятельность) и имеющих непосредственные контакты. Примерами таких групп могут быть локомотивная или производственная бригада, экипаж самолета и т. д. Малая группа включает от 2 до 30 человек.

В эргономике и инженерной психологии группа операторов, выполняющих общую задачу по управлению производственным процессом, рассматривается обычно в качестве системы. Поэтому для изучения групповой деятельности весьма перспективным является применение основных принципов системного подхода. Применительно к изучаемому вопросу они сводятся к следующему: изучаемый объект (малая группа) рассматривается как целостная система, состоящая из множества относительно независимых элементов; свойства системы несводимы к простой сумме свойств ее элементов; системе в целом и каждому отдельному элементу свойственна специфичность функционирования; элементы системы определяются как целостные единицы, и основным объектом изучения являются особенности их взаимосвязи и целостного функционирования.

Рассмотренные принципы при изучении групповой деятельности операторов реализуются обычно в следующей последовательности: определяются элементы изучаемой системы (ими в данном случае являются отдельные операторы и технические устройства, опосредующие их деятельность). Выявляются системообразующие связи и отношения между ними. Основное внимание уделяется изучению информационных связей операторов друг с другом, а также между операторами и техническими устройствами. Исследуется процесс взаимодействия в малой группе как процесс проявления ее системообразующих связей, обуславливающих результативность целостного функционирования всей группы.

Взаимодействие операторов в малой группе может рассматриваться на двух уровнях: официальном, формальном (деловые взаимоотношения), и неформальном (межличностные взаимоотношения). Деловые взаимоотношения определяются характером решаемой задачи и устанавливаются штатным расписанием, должностными инструкциями и другими официальными документами. Иными словами, эти взаимоотношения направлены на получение определенного результата и определяются объективными условиями.

По своему характеру деловые взаимоотношения могут быть как непосредственными (личное общение), так и опосредованными с помощью других людей или технических устройств. В последнем случае о результатах действий других членов группы оператор судит по показаниям приборов и индикаторов; с помощью их он получает также команды и указания по выполнению тех или иных действий. Соотношение между обоими видами взаимодействия операторов (непосредственное или опосредованное) определяется типом СЧМ и характером решаемых операторами задач. Изучение опосредованного взаимодействия операторов представляет особый интерес для эргономики. Однако его

изучение должно проводиться совместно с другими видами взаимодействий операторов. Вступая в общение и взаимодействие внутри малой группы, люди обнаруживают также свое субъективное отношение друг к другу. Эти отношения называются межличностными.

В соответствии с двумя видами взаимоотношений (деловые и межличностные) различают формальную (официальную) и неформальную структуру группы. Формальная структура отражает взаимодействие операторов по деловому признаку, неформальная структура определяется системой эмоционально направленных связей, взаимными симпатиями и антипатиями.

Признаком хорошей организации группы является руководящая роль официальной структуры в регулировании межличностных взаимоотношений. Большую роль в таких группах играют также межличностные отношения, опосредствованные принятыми в группе ценностями и оценками. Психологической основой ценностно-смысловых ориентаций личности является многообразная структура потребностей, мотивов, интересов, целей, идеалов, убеждений, мировоззрения, участвующих в создании направленности личности и выражающих социально детерминированные отношения личности к действительности. Ценностно-смысловая сфера личности объединяет два основных компонента — ценностные ориентации и систему личностных смыслов. Высшей формой групповой организации является коллектив. В нем межличностные отношения опосредуются личностно значимым и общественно ценным содержанием групповой деятельности.

Характер взаимодействия в группе зависит от вида решаемой задачи. Успешное решение групповой задачи предполагает оптимальное взаимодействие между операторами на всех этапах ее решения. Для этого операторы должны обмениваться необходимой для управления СЧМ информацией, совместно принимать решения и с помощью органов управления согласованно выполнять их.

Основными формами взаимодействия при этом являются следующие: психомоторное взаимодействие (осуществление совместных управляющих действий), взаимодействие при решении мыслительных задач, взаимодействие при решении перцептивно-опознавательных задач (анализ и дешифрирование различного рода изображений), коммуникативное взаимодействие (управление машинами и технологическими процессами). Вполне понятно, что выделение названных форм взаимодействия довольно условно, однако оно позволяет более полно и обоснованно изучать особенности групповой деятельности операторов.

Взаимоотношения в группе операторов имеют ряд особенностей по сравнению с другими профессиональными группами. Основными из них являются

следующие: операторы зачастую пространственно изолированы друг от друга, например ДСП; в процессе решения групповой задачи большая роль принадлежит взаимоотношениям, опосредованным различного рода техническими устройствами, что в ряде случаев затрудняет или ослабляет возможность непосредственного общения и наблюдения за действиями других операторов; в процессе решения групповой задачи возрастает роль вероятностного прогнозирования: помимо всего прочего оператор должен уметь прогнозировать (предвидеть) возможные действия своих партнеров, причем зачастую это нужно делать при отсутствии непосредственного контакта с ними; результат решения задачи зависит не только от уровня индивидуальной подготовки операторов, но и от их способности к совместному решению задачи в рамках функционального единого, но зачастую пространственно разнесенного сенсорного поля.

В процессе совместной деятельности люди неизбежно вступают в общение друг с другом. Специфика общения в отличие от других видов взаимодействия состоит в том, что в нем прежде всего проявляются психологические качества людей. Общение представляет собой объективный материальный процесс, оно всегда вплетено в практическую деятельность людей, в которой и реализуются его коммуникативные функции: информационная, регулятивная и аффективная.

*Информационная функция* связана с процессами передачи и приема информации. Исторически исследование информационных процессов было вызвано прежде всего потребностями развития техники связи. Однако необходимо подчеркнуть, что оценка информационных характеристик технических устройств важна не сама по себе, а лишь постольку, поскольку они являются средствами общения между людьми. Ведь в конце концов определение потоков информации, передаваемых по каналам связи, скорость передачи, объем сообщений и т. д. нужны для того, чтобы обеспечить точную и своевременную передачу информации от человека к человеку. Позднее информационный подход стал использоваться и при изучении непосредственного общения людей. Рассматривая информационную функцию общения (как опосредованного, так и непосредственного), важно подчеркнуть, что в процессе общения людей информация не только передается или принимается, но и формируется. Изучение процессов формирования информации особенно большое значение имеет для оптимизации группового принятия решений и осуществления совместных управляющих действий.

Другой класс функций общения относится к *регуляции поведения*, которую люди осуществляют по отношению друг к другу. В процессе общения формируются цели, мотивы и программы поведения включенных в группу людей.

В этом процессе осуществляется также взаимная стимуляция и взаимный контроль поведения.

*Аффективная функция* общения относится к эмоциональной сфере человека. Общение оказывает влияние на различного рода психофизиологические состояния человека, влияет на уровень эмоциональной напряженности. При соответствующих условиях эта функция общения также обеспечивает эмоциональную разрядку людей.

В реальном акте общения перечисленные функции выступают в тесном единстве. При этом они так или иначе реализуются по отношению к каждому участнику общения, но происходить это может различным способом. Например, акт общения, выступающий для одного оператора как передача информации, для другого может выступать как функция регуляции поведения (например, выполнение того или иного действия в зависимости от сообщения о действиях партнера).

В процессе формирования любой профессиональной группы складывается своеобразный резерв ее возможностей, или «коллективная способность». Каждый член группы как бы вносит в этот резерв свои способности, знания, умения и навыки. Вместе с тем участие в групповой деятельности обогащает каждого отдельного работника, совершенствует его способности, умения и навыки.

В целом «резерв возможностей» группы больше суммы «резервов» входящих в нее членов, т. е. здесь имеет место своеобразный синергетический эффект: суммирующий эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы. Это происходит потому, что при групповой деятельности возникает возможность взаимного контроля и коррекции действий, что способствует повышению их точности. В условиях совместной деятельности и неизбежно связанного с ней общения совершенствуется процесс восприятия (повышается его избирательность и объективность). Обогащается система представлений, улучшаются характеристики памяти (точность и полнота воспроизведения), более продуктивными становятся умственные действия (повышается общая активность мышления, обогащаются приемы решения задач), возникают более емкие обобщения (поскольку в их формировании используется не только собственный опыт, но и опыт других людей).

Иначе говоря, включаясь в групповую, индивидуальная деятельность претерпевает определенные преобразования, причем это касается как ее основного вектора «мотив — цель», так и структуры, динамики и механизмов ее регуляции. Эти психологические преимущества групповой деятельности находят

также отчетливое выражение в процессе обучения. Специальные исследования показывают, что темпы овладения знаниями и навыками, а также уровень достижений в условиях совместной деятельности значительно выше тех, которые характеризуют индивидуальную деятельность.

Групповая деятельность особенно эффективна, когда приходится сталкиваться с задачами и проблемами, имеющими несколько решений. Качество групповых решений обычно выше по сравнению с индивидуальными. Однако групповые решения требуют обычно больше времени, чем индивидуальные.

Рассмотренные преимущества групповой деятельности характеризуют лишь ее потенциальные возможности. Реализация их на практике, а следовательно, эффективность групповой деятельности во многом зависят от того, как организована группа.

## 12.2. Организация групповой деятельности

Эффективность групповой деятельности зависит от ряда факторов. Среди них в первую очередь следует назвать организацию деловых взаимоотношений, определяемую величиной группы, разделением функций людей в группе и организацией взаимосвязи между ними.

Величина группы определяется количеством включенных в нее операторов. Далеко не всегда большая по величине группа эффективнее и быстрее выполнит порученное задание. Для каждого конкретного задания (и конкретной деятельности) можно определить ту численность группы, при которой достигается наиболее высокая эффективность. Эту численность принято называть оптимальной. Эффективность оказывается ниже и в том случае, когда численность меньше, и в том, когда она больше оптимальной.

Но дело, конечно, не просто в самой по себе численности группы. Важно то, как она организована, т. е. как разделены функции людей, входящих в группу, и как эти люди связаны друг с другом.

В зависимости от конкретных задач возможны различные варианты функциональной организации группы: «цепочка», «звезда», «круг», «сеть» (рис. 12.1).

Ведущая роль в групповой деятельности операторов принадлежит информационным связям между членами группы, определяемым ее функциональной организацией. Анализируя групповую деятельность, необходимо прежде всего оценить информационные связи ее участников: кто и с кем имеет информационную связь, является ли она односторонней или двусторонней, как часто в ходе выполнения задания члены группы обмениваются информацией.

Понятно, что чем больше группа, тем больше возможность информационных связей, а значит, и типов организационных структур. Но реализация этих возможностей зависит от конкретных задач, решаемых группой. Если задача сравнительно проста и ее решение не требует переработки больших объемов информации (а также сложных алгоритмов деятельности), то потенциальные связи используются лишь частично. Напротив, более полное их использование снижает скорость решения задачи и повышает вероятность возникновения ошибок. В этом случае наиболее эффективна группа централизованного типа («звезда»). При решении задач, требующих переработки больших объемов информации и сложных алгоритмов деятельности, более эффективными являются группы, организованные по типу «сети» (полной или неполной). Разберем особенности организации групповой деятельности диспетчерской группы на железнодорожном транспорте.

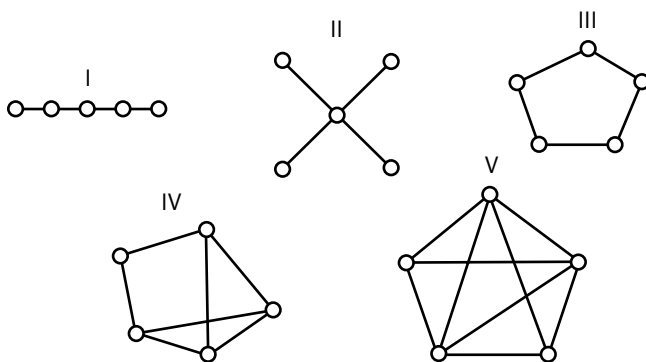


Рис. 12.1. Функциональная группировка малых групп (5 человек):  
1 — цепочка; 2 — звезда; 3 — круг; 4 — сеть (неполная); 5 — сеть (полная)

Взаимоотношение в диспетчерской группе имеет ряд особенностей, среди которых можно выделить следующие:

1. Поездные диспетчеры (ДНЦ) пространственно изолированы от станционных (ДСП).

2. В решении основной групповой задачи — эффективного и безопасного управления движением — все возрастающая роль принадлежит ресурсным техническим средствам, прежде всего ЭВМ с разнообразным программным обеспечением. Однако это не отменяет значимости речевого общения в процессе выполнения совместной работы.

3. Результат решения задачи по управлению движением зависит не только от уровня индивидуальной подготовки диспетчеров, но и от их способности

к совместному решению задачи в рамках функционально единого, но пространственно разнесенного сенсорного поля.

Диспетчерская группа имеет ряд особенностей, определяемых характером конкретных задач по управлению движением, решаемых группой. Если рассматривать взаимодействие в группе поездной диспетчер ДНЦ — дежурные по станции ДСП, то функциональная группировка этой малой группы выглядит, как сочетание «звезды» с «кругом» (рис. 12.2).

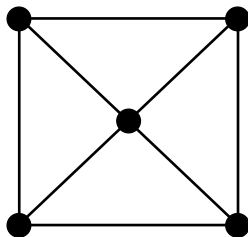


Рис. 12.2. Организация группы поездной диспетчер — дежурные по станции

Эффективное протекание диспетчерской групповой деятельности зависит от того, чтобы ее официальная структура совпадала с неофициальной. Поездной диспетчер, будучи официальным лидером в обязательном порядке, как ни в каком другом производственном коллективе, должен быть и ее неформальным лидером. Он должен обладать высочайшей степенью как профессиональной, так и личной авторитетности среди всех членов группы.

Обучение ДСП/ДНЦ проводится на базе тренировочного центра, который представляет комплекс программно-аппаратных средств и моделей, имитирующих работу систем, связанных с управлением движением поездов и обеспечением безопасности движения. Именно такой комплекс эксплуатируется в Дальневосточном госуниверситете путей сообщения. Условия работы таких центров требуют применения технологий сетевого и межсетевого взаимодействия, обеспечения высокой степени реалистичности моделируемых процессов, адаптивности, информационной оснащенности. В таких центрах должны соблюдаться инженерно-психологические требования: дружелюбный интерфейс, надежность и восстанавливаемость.

Из сказанного ясно, что для обеспечения высокой эффективности и надежности групповой деятельности важно при ее организации правильно определить величину группы, ее организационную структуру и характер информационных связей. Исходя из этого, решается вопрос о выборе технических средств коммуникации.



Эффективное протекание групповой деятельности зависит также от правильного распределения обязанностей внутри группы. Это проявляется в предоставлении каждому оператору такого положения в группе, которое наиболее полно соответствует выбранному им типу коммуникативного поведения. В социальной психологии различают четыре типа поведения при решении групповых задач: лидер, ведомый, обособляющийся, сотрудничающий.

У лидера ярко выражена ориентировка на власть в группе. Представители этого типа поведения могут успешно решать групповые задачи при условии подчинения себе других членов группы. Ведомый — это человек с ярко выраженной ориентировкой к добровольному подчинению. Лица такого типа поведения наиболее успешно решают чисто исполнительские задачи. Обособляющийся — это тип поведения с ярко выраженной индивидуалистической ориентировкой. Лица такого типа наиболее успешно решают задачи при условии относительной изоляции от группы, в одиночестве. Лица сотрудничающего типа постоянно стремятся к совместному с другими решению задачи и следуют за ними в случае разумных решений. Такая деятельность наиболее приемлема для нескольких операторов одного уровня управления, решающих одну общую задачу.

Для диагностики названных типов коммуникативного поведения и отнесения данного оператора к тому или иному типу можно воспользоваться следующим приемом. Для каждой пары операторов  $(i, j)$  экспериментально определяется групповая производительность  $R_{i,j}$ , равная количеству операций, выполненных оператором  $i$  совместно с оператором  $j$  в единицу времени. На основании полученных оценок рассчитывают для каждого оператора его среднюю групповую производительность  $R_i$  и дисперсию  $\Sigma_i$ .

Характеристика эффективности групповой деятельности для каждого оператора может быть представлена в виде двухмерного вектора  $\vec{E}_i = (R_i, \Sigma_i)$  в плоскости  $R0\Sigma$ . При этом начало координат  $O$  помещается в точку  $(\bar{R}\bar{\sigma})$ , где  $\bar{R}$  — средняя групповая производительность всех операторов, а  $\bar{\sigma}$  — средняя дисперсия. Тогда все  $R_i > \bar{R}$  и  $\Sigma_i > \bar{\sigma}$  будут иметь положительный знак, а  $R_i < \bar{R}$  и  $\Sigma_i < \bar{\sigma}$  — отрицательный знак.

В результате каждый вектор  $\vec{E}$  будет находиться в одном из четырех квадрантов плоскости  $R0\Sigma$ , разделяя таким образом операторов на четыре группы (рис. 12.3).

Первая группа (первый квадрант) — это операторы, имеющие большую групповую производительность (выше средней) и большую ее дисперсию. Эти операторы хорошо подстраиваются к работе партнеров, и их можно интерпретировать как **сотрудничающий** тип. Вторая группа (второй квадрант) включает

операторов, имеющих большую производительность и малую дисперсию. Эти операторы подчиняют себе партнеров, их можно считать **лидерами**. В третью группу входят операторы с малой производительностью и малой дисперсией. Они одинаково плохо сотрудничают со всеми, поэтому их можно рассматривать как **обособляющийся** тип. И, наконец, для четвертой группы характерна малая производительность, но большая дисперсия. Таких операторов можно рассматривать в качестве **ведомых**. Для реализации рассмотренного подхода разработано специальное устройство, с помощью которого можно выявить для каждого человека тип его коммуникативного поведения и в соответствии с этим предоставить ему место в групповой деятельности.

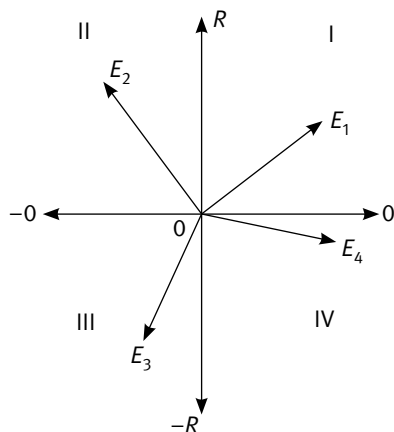


Рис. 12.3. Геометрическая интерпретация различных типов коммуникативного поведения операторов

Эффективность групповой деятельности зависит, кроме всего прочего, и от *совместимости* операторов. Под ней понимается такое проявление тех или иных свойств отдельных операторов, от которых зависит успешное выполнение групповой деятельности. Проблема совместимости может рассматриваться на различных уровнях: физиологическом, психофизиологическом, социально-психологическом и др.

Совместимость конкретной группы операторов определяется характером выполняемой ею деятельности. При этом разные виды деятельности требуют совместимости по разным свойствам: одни — по физическим (например, физическая сила), другие — по психофизиологическим (подвижность нервных процессов и т. п.), третьи — по эмоционально-волевым (уровень эмоциональной устойчивости и др.), четвертые — по социально-психологическим (например, такие черты характера, как общительность, чуткость и т. д.).

Разные виды деятельности предъявляют разные требования и к совокупности свойств, обуславливающих совместимость. В одних случаях требуется совместимость по некоторому ограниченному числу свойств, в других — по более значительной их совокупности. Последнее особенно важно для групп, работающих в условиях относительной изоляции.

Необходимо отметить, что совместимость характеризует не отдельных индивидов, а их группу и имеет множественные проявления. Люди, входящие в одну и ту же группу, в одних отношениях и в одних видах деятельности могут оказаться совместимыми, в других — несовместимыми. Важно отметить также, что понятие совместимости не всегда означает подобие тех или иных свойств. Некоторые виды групповой деятельности требуют не подобия, а, наоборот, различий между людьми (дополнение свойств одного свойствами другого).

Противоположным рассмотренному является понятие психологической несовместимости. Для группы операторов психологическая несовместимость — это не только различие ценностных установок, отсутствие дружеских связей, неуважение или неприязнь людей друг к другу. К этому нужно добавить еще неспособность в критических ситуациях понять друг друга, несинхронность психомоторных реакций, различия во внимании, мышлении и другие врожденные и приобретенные свойства личности, которые препятствуют совместной деятельности. При этих обстоятельствах быстрее возникают конфликтные ситуации, что снижает эффективность групповой деятельности.

Подтверждением этого является пример, приведенный в одной из работ. Было проведено наблюдение за действиями двух летчиков, один из которых — командир — был более медлительным, с несколько замедленной реакцией, тогда как его помощник был более быстрым и решительным человеком. В условиях аварийной обстановки возникла конфликтная ситуация в связи с вмешательством младшего по должности в управление самолетом и попыткой навязать свою линию поведения. Вследствие этого аварийная ситуация была ликвидирована далеко не лучшим образом.

На эффективность групповой деятельности определенное влияние оказывает возможность общения (в частности, речевого) операторов в процессе выполнения совместной работы. Информирование операторов о взаимных действиях повышает у них чувство уверенности, снижает эмоциональную напряженность. Особенно это важно в тех случаях, когда групповая деятельность носит опосредствованный характер.

Речевое общение выполняет в групповой деятельности информационную (снабжение необходимой информацией), регулятивную (влияние на стратегию решения групповой задачи) и аффективную (изменение эмоционального

состояния операторов) функции. Общение обычно усиливается в начале решения задачи, когда происходит общее согласование взаимных действий; при усложнении задачи (например, при переходе от психомоторного взаимодействия к мыслительному, интеллектуальному); при увеличении количества операторов в группе.

В начальной фазе взаимодействия (в начале решения задачи) речевое общение выполняет функции обмена рабочими гипотезами и общей координации взаимодействия.

Зависимость эффективности групповой деятельности от интенсивности общения носит обычно криволинейный характер (рис. 12.4). Как очень высокая, так и очень низкая речевая активность не способствуют повышению эффективности групповой работы. В первом случае усиленное речевое общение создает дополнительные помехи в работе и отражает слабую согласованность действий операторов, во втором случае недостаточность обмена информацией и регулятивных влияний вызывает периодические рассогласования в работе. Эти результаты были получены при решении операторами групповой психомоторной задачи в условиях опосредованного взаимодействия.

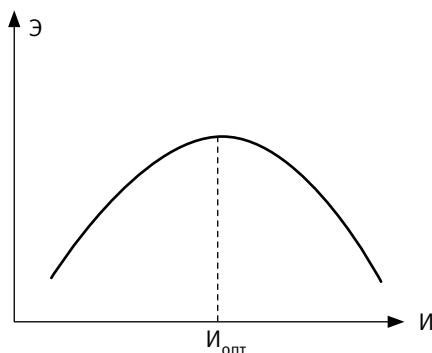


Рис. 12.4. Зависимость эффективности групповой деятельности от интенсивности общения

Аналогичные результаты получены также при изучении непосредственного взаимодействия двух операторов в условиях решения перцептивных поиско-опознавательных задач. Коммуникативное поведение операторов носило сотрудничающий характер: они на паритетных началах совместно решали задачу дешифрирования и анализа космо- и аэрофотоснимков. Оказалось, что информационное взаимодействие существенно влияет на стратегию поиска, которая теряет свою непосредственность или, наоборот, узкую направленность на проверку какой-то одной гипотезы. Это обусловлено тем, что в схему инди-

видуального поиска включаются сообщения партнера, причем они оказывают влияние на стратегию поиска даже в том случае, когда непосредственно не используются (игнорируются) получателем сообщения.

На успешность решения задачи влияет как интенсивность, так и качество сообщений. В условиях взаимодействия субъективная уверенность в правильности принимаемого решения повышается, если полученное решение совпадает с собственным; в то же время может усиливаться внутреннее сомнение, если результаты расходятся. Соответственно будет меняться время и точность решения задачи.

Характерной особенностью современного производства является широкое применение многоуровневых иерархических систем управления. Психологические проблемы оптимальной организации деятельности операторов таких АСУ обусловлены необходимостью создания коллективной многоплановой концептуальной модели реальной обстановки. Особое значение при этом приобретает влияние на эффективность совместной деятельности различных информационных факторов. К их числу можно отнести: распределение информации между операторами; организацию средств обмена информацией между ними; определение форм представления данных о совместно решаемой задаче.

При взаимодействии операторов в иерархических АСУ могут использоваться свернутые и развернутые формы координационных действий. Первые из них имеют место при решении заранее известных задач управления в условиях сравнительно небольшой по величине интенсивности потока таких задач. Свернутые действия осуществляются при небольшом алфавите входных сигналов, простых способах их декодирования, одномоментной оценке имеющей место производственной ситуации, ограниченном числе заранее известных вариантов исполнительных действий.

При возникновении проблемной ситуации или не учтенных заранее задач операторы вынуждены переходить к развернутой форме координационных действий. Она характеризуется пошаговым, многократным, дискретным выполнением последовательности определенных действий, связанных между собой логическими связями. При этом выполняемые действия могут быть взаимно переплетены у различных операторов. В этих условиях эффективность групповой деятельности в значительной степени определяется способностью операторов к адекватному отражению деятельности окружающих, к правильному взаимопониманию в условиях решения совместной задачи.

Для повышения эффективности групповой деятельности большое значение имеет применение рефлексивных моделей деятельности оператора — как информационных, так и исполнительных. Сущность таких моделей состоит в том,

что они представляют собой отражение как собственных образов реальной обстановки и требуемых действий, так и аналогичных образов взаимодействующих операторов. Построение информационных моделей должно базироваться на принципе рефлексивного структурирования информации, сущность которого в данном случае заключается в том, что для обеспечения эффективной координации групповой деятельности требуется обеспечение возможностей оперативного содержательного разделения информационных потоков по их принадлежности к деятельности отдельных операторов.

Экспериментальные данные показывают, что преимущества рефлексивных информационных моделей по сравнению с обычными тем больше, чем сложнее решаемые операторами групповые задачи. Точно так же рефлексивные исполнительные модели позволяют оператору взаимодействовать с отражением управляющих действий, выполняемых другими операторами.

Интегральной характеристикой эффективности взаимодействия операторов является сработанность группы. Сработанность — это эффект взаимодействия, сочетания людей, который дает максимально возможную успешность в совместной деятельности при малых энергетических тратах на деятельность и взаимодействие на фоне значительной субъективной удовлетворенности друг другом и высокой адекватности взаимопонимания. Таким образом, сработанность группы должна оцениваться по трем компонентам: поведенческому, аффективному и когнитивному.

С помощью специальных критериев была проведена оценка сорока летных экипажей самолетов ТУ-134. Как известно, летный экипаж состоит из специалистов, выполняющих различные функции. Взаимодействие между членами экипажа носит как непосредственный, так и опосредованный характер. В процессе совместной работы в экипаже осуществляется психомоторное, коммуникативное и межличностное взаимодействие, а также взаимодействие по решению мыслительных задач. Поэтому групповая деятельность требует согласования ряда функций отдельных членов экипажа.

По результатам производственной деятельности обследованные экипажи были разбиты на две группы: с высокими (группа А) и средними (группа Б) показателями работы. В группе А выявлено более четкое распределение функций между членами экипажа, выбор лидера в ней совпал в 65 % из всех произведенных выборов лидера в экипаже, причем роль лидера, как правило, отводилась командиру экипажа. В группе Б выбор лидера совпал лишь в 20 % всех случаев (т. е. мнения членов экипажа относительно лидера не совпадали), при этом роль лидера отводилась командиру лишь в 40 % случаев. Неудовлетворенность совместной работой в группе Б оказалась намного выше, чем в группе

А. Экспериментальные исследования на кибернометре (приборе, моделирующем групповую деятельность) показали, что для группы Б характерным является более высокий уровень психофизиологической напряженности и большая интенсивность речевого общения в процессе работы, чем для группы А. Все это свидетельствует о лучшей сработанности экипажей группы А по сравнению с экипажами группы Б.

### 12.3. Методы изучения коллективной деятельности

Для изучения групповой деятельности операторов могут применяться разные методы. Среди них прежде всего необходимо отметить наблюдение и эксперимент, особенности применения которых были описаны ранее. Для изучения межличностных отношений в группе применяется социометрический метод, который является одной из форм группового опроса.

Социометрия как метод исследования позволяет диагностировать и прогнозировать изменения в структуре взаимоотношений личности в коллективе, дает возможность количественного подхода к изучению явлений межличностного общения. Сущность социометрического метода состоит в том, что при помощи субъективных оценок деятельности других членов коллектива или выборов их по каким-либо признакам определяется как облик отдельных личностей в коллективе, так и облик всего коллектива. Наиболее распространенными являются два основных варианта социометрического метода:

1) метод выборов — каждый человек выбирает другого человека для какой-либо совместной деятельности, основываясь на симпатиях или антипатиях к этому человеку;

2) метод оценки — каждый человек оценивает или характеризует других членов коллектива.

Оба эти метода дают возможность исследовать неофициальную структуру группы. Они позволяют получить структуру взаимоотношений в группе в момент исследования: раскрыть имеющиеся группировки, определить степень авторитетности всех членов группы, выявить лиц, вносящих в сферу общения элементы раздора, вражды и т. д. Выявление этих вопросов позволяет определенным образом строить воспитательную работу с целью повышения сплоченности группы. Наилучшей является такая группа, у которой ее официальная структура совпадает с неофициальной. Более подробно социометрический метод описан в специальной литературе.

Для изучения взаимоотношений в малых группах может применяться методика, разработанная Т. Лири. С ее помощью выявляется преобладающий тип отношений к людям в самооценке и взаимооценке. При этом выделяется два фактора: «доминирование-подчинение» и «дружелюбие-агрессивность (враждебность)». Именно эти факторы определяют общее впечатление о человеке в процессах межличностного восприятия.

В зависимости от соответствующих показателей выделяется ряд ориентаций — типов отношения к окружающим. Делаются выводы о выраженности типа, о степени адаптированности поведения — степени соответствия (несоответствия) между целями и достигаемыми в процессе деятельности результатами. Очень большая неадаптивность поведения (при представлении результатов выделяется красным цветом) может свидетельствовать о невротических отклонениях, дисгармониях в сфере принятия решений или являться результатом каких-либо экстремальных ситуаций.

Методика может использоваться как для самооценки, так и для оценки наблюдаемого поведения людей («со стороны»). В последнем случае испытуемый отвечает на вопросы как бы за другого человека, основываясь на своем представлении о нем. Суммируя результаты такого тестирования разных членов группы (например, трудового коллектива), можно составить обобщенный «представленческий» портрет какого-либо ее члена, например лидера. И делать выводы об отношении к нему других членов группы.

Для представления основных социальных ориентаций Т. Лири разработал условную схему в виде круга, разделенного на секторы (рис. 12.5). В этом круге по горизонтальной и вертикальной осям обозначены четыре ориентации: «доминирование–подчинение», «дружелюбие–враждебность». В свою очередь, эти секторы разделены на восемь — соответственно более частным отношениям. Для еще более тонкого описания круг делят на 16 секторов, но чаще используются октанты, определенным образом ориентированные относительно двух главных осей.

Схема Т. Лири основана на предположении, что чем ближе оказываются результаты испытуемого к центру окружности, тем сильнее взаимосвязь этих двух переменных. Сумма баллов каждой ориентации переводится в индекс, где доминируют вертикальная (доминирование-подчинение) и горизонтальная (дружелюбие-враждебность) оси. Расстояние полученных показателей от центра окружности указывает на адаптивность или экстремальность интерперсонального поведения.

Опросник содержит 128 оценочных суждений, из которых в каждом из 8 типов отношений образуются 16 пунктов, упорядоченных по восходящей интен-



сивности. Методика построена так, что суждения, направленные на выяснение какого-либо типа отношений, расположены не подряд, а особым образом: они группируются по 4 и повторяются через равное количество определений. При обработке подсчитывается количество отношений каждого типа.

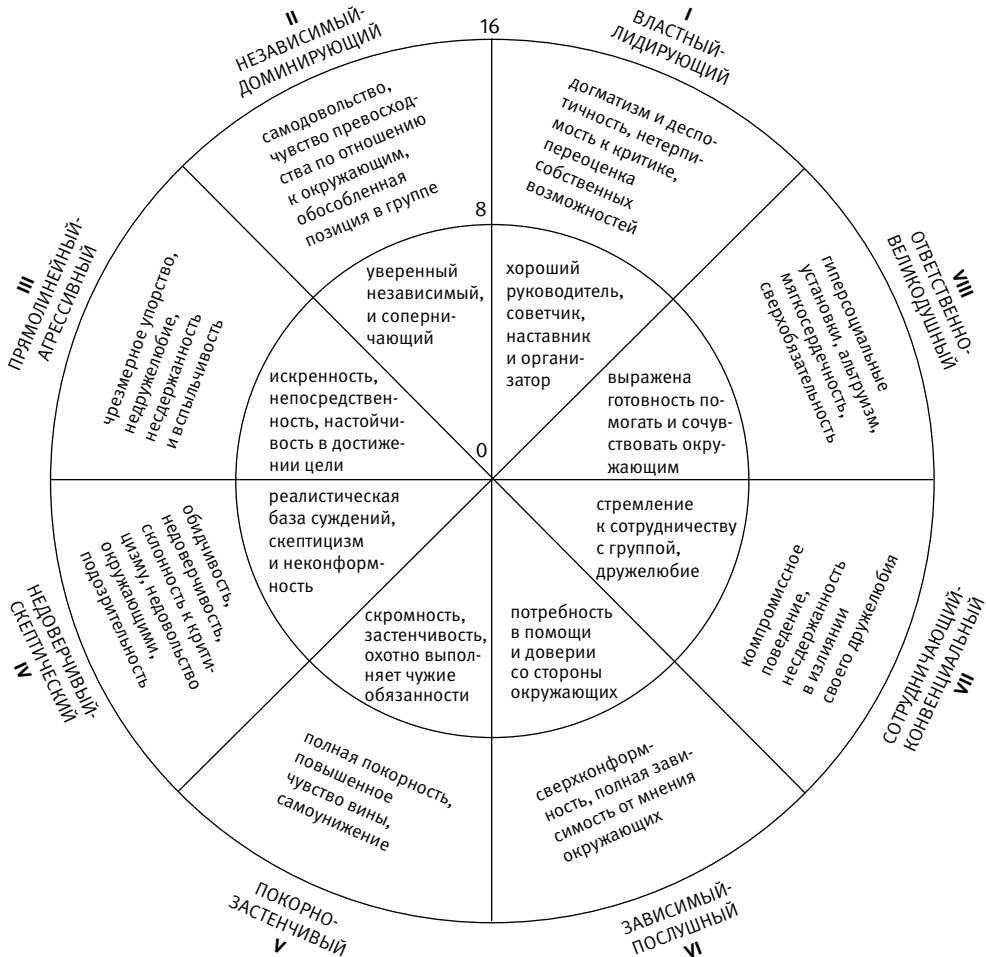


Рис. 12.5. Круг для представления основных социальных ориентаций Т. Лири

Для изучения групповой деятельности широко применяются также математические методы. Среди них в первую очередь следует отметить метод имитационного моделирования. Так же как и при исследовании индивидуальной деятельности, здесь возможно его применение для исследования процесса

решения одиночной групповой задачи и для исследования поведения группы в условиях потока задач. Общая схема моделирования в первом случае соответствует той, которая показана в нашей работе [1]. В качестве исходных данных сюда могут быть введены показатели, которые характеризуют взаимодействие операторов (спаянность группы, эффективность коммуникаций направленность каждого оператора и ее изменение в случае успешного и неуспешного решения задачи, моральное состояние группы и др.). Модель позволяет исследовать зависимость эффективности групповой деятельности (например, времени и точности решения групповой задачи) от перечисленных показателей взаимодействия операторов.

*Групповая модель железнодорожных эргатических систем.* Описанная методика моделирования систем «человек-машина» с одним или двумя операторами в контуре управления может быть использована в различных приложениях. Замена таких программных элементов, как описание объекта управления, описание устройства управления, алгоритмы обнаружения ситуаций, дает возможность адаптировать модель для исследования и оценки разных эргатических систем. При конкретном моделировании значения параметров модели берутся как из справочников по эргономике, так и из экспериментальных исследований. Однако на практике чаще приходится иметь дело с групповой деятельностью. Поэтому вторая цифровая модель систем человек-машина, отражающая диспетчерское управление, относится к деятельности группы. Рассмотрим основные принципы формирования и имитации деятельности малых групп применительно к региональным (дорожным) центрам управления ДЦУП. Прежде всего определимся с основными понятиями. Основой функционирования модели является иерархическая диспетчерская структура (Центр), которым укомплектовывается система для решения трех основных задач: обеспечение погрузки в соответствии с суточным и текущим планами погрузки; обеспечение проследования поездов (в том числе выполняющих местную работу) в соответствии с графиком движения, планом формирования и планом передачи вагонов по внутренним и внешним стыкам при безусловном соблюдении безопасности движения; выполнение различного рода специальных перевозок и заданий.

Каждый из этих типов задач является набором заданий, которые могут быть представлены как совокупность подзадач, называемых элементарными операциями.

Выполнение каждой из элементарных операций производится группой специалистов, которой, например, при диспетчерском управлении может быть группа «поездной диспетчер — дежурный по станции».

Цифровая модель такой системы, как Центр, может быть применена для предсказания таких ее показателей:

- 1) эффективность системы как функция численности и времени выполнения задания;
- 2) напряженность работы отдельных подразделений;
- 3) моральное состояние и согласованность действий персонала Центра в процессе выполнения задания;
- 4) эффективность деятельности группы при возникновении критических ситуаций;
- 5) напряженность работы группы при развитии интеллектуальных систем ДЦУП;
- 6) квалификация сотрудников Центра;
- 7) время, требуемое для ремонта оборудования.

Мы перечислили далеко не полный перечень показателей, которые могут быть извлечены из модели при ее проигрывании. Основное внимание было уделено инженерно-психологическим аспектам деятельности, хотя в модели найдут свое отражение и аспекты, связанные с применением основных организационных принципов, стратегий комплектования штатов в условиях дальнейшего развития.

Особо следует подчеркнуть важность имитационного моделирования системы «человек-машина» в условиях скоростного и высокоскоростного движения поездов, когда создаются специализированные диспетчерские центры для полигона скоростного движения (СДЦУП).

Теперь сделаем несколько общих замечаний относительно рассматриваемой модели группового поведения.

Соответственно на нижнем уровне диспетчерского управления на технических и крупных грузовых станциях работой смены оперативно руководит станционный диспетчер. Оперативное управление маневровой работой осуществляет маневровый диспетчер. Приемом, отправлением, пропуском поездов, производством маневровой работы в пределах своего района руководит дежурный по станции. Наиболее существенной проблемой при формировании данных о задании является понятие «элементарная операция» при диспетчерском управлении. Рассматривая операции, осуществленные дежурным по станции (ДСП), В. Н. Пушкин и Л. С. Нерсисян предлагают следующую предварительную классификацию операций ДСП в зависимости от трудности их выполнения:

1. Операция отдельная, изолированная от других операций. Такие операции чаще всего бывают в работе небольших промежуточных станций на участках с незначительной интенсивностью движения поездов. В этом случае прием

и отправление одного поезда отделены значительным промежутком времени от приема и отправления другого поезда. Здесь фактор временного разрыва играет положительную роль, поскольку это разрыв между законченными отдельными операциями, не между звеньями одной операции.

2. Операции, следующие друг за другом с незначительным временным интервалом. Выполнение операции, протекающей сейчас же после реализации аналогичной операции, сложнее, чем выполнение изолированной. Осложнение здесь возникает как следствие результата предыдущей операции.

Такого рода операции, протекающие в высоком темпе, характерны для крупных узловых станций, на которые поезда прибывают один за другим с разных направлений. В литературе описано отрицательное воздействие высокого темпа на протекание трудового действия.

Еще более сложные условия протекания совмещенных операций ДСП происходят при одновременном руководстве поездной и маневровой работой. Например, когда помимо телефонных переговоров и прокладывания маршрутов для поездов, предусмотренных графиком движения, дежурный организует еще маневровую работу; для этого он прокладывает маневровые маршруты и ведет частые переговоры с дежурным по путям и машинистом маневрового локомотива. Это создает ситуацию взаимоисключающих операций, что является большой эмоциональной нагрузкой для дежурного.

Сложность ситуации состоит в том, что во время маневровой работы на главных путях исключается всякая поездная работа и создается вероятность задержки следования поездов через станцию, если маневровый локомотив по-чему-либо задержится на главных путях при переходе из одного парка в другой. Поэтому дежурный подходит к окну для непосредственного наблюдения за передвижением маневрового локомотива через главные пути. Необходимость в визуальном наблюдении в данном случае понятна: через одну-две минуты нужно проложить маршрут для очередного поезда, следующего как раз по тому пути, на котором в данный момент находится локомотив.

Здесь выступает одно характерное условие протекания операций ДСП. Операция поездная как бы встречается, перекрещивается с операцией маневровой. Эмоциональное напряжение в этом случае возникает в результате «давления» одной операции на другую. Прояснив типологию элементарных операций, отметим, что она строится совершенно на других принципах, чем в модели [2]. Основой здесь является эмоциональное напряжение ДСП при проведении элементарной операции того или иного типа.

Далее определяется минимальная численность, причем расчет производится на основе данных Центра о задании (рабочей нагрузке).

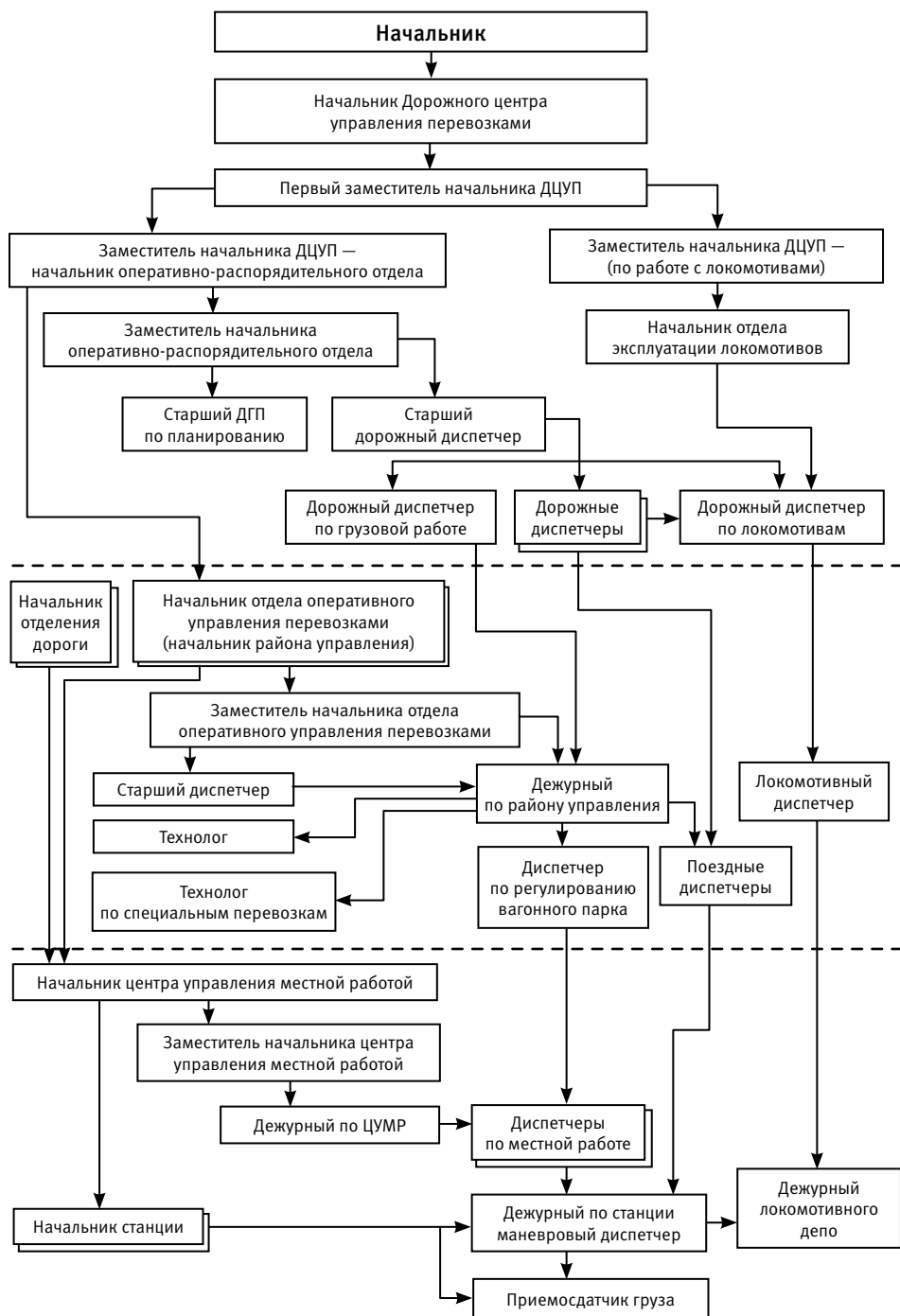


Рис. 12.6. Структура диспетчерского управления на дороге

Прежде чем имитировать деятельность Центра по выполнению каждой предписанной элементарной операции, вычислительная машина должна «принять определенные решения» относительно комплектования Центра персоналом различного типа и разного уровня квалификации. Это производится в соответствии с требованиями задания и критериями, которым должен удовлетворять персонал. Наряду с этим на каждого сотрудника Центра даются характеристики его личности, которые заносятся в память вычислительной машины: начальные значения коэффициентов его направленности и технической квалификации (степени мастерства).

В модели предусмотрено исследование зависимости эффективности деятельности Центра от разного рода организации диспетчерской деятельности.

В процессе исследования трудовой деятельности ДСП было выявлено шесть таких форм: 1) один дежурный у АРМа или у пульта управления; 2) ДСП и оператор; 3) три дежурных (один головной и два у пульта); 4) у пульта сигналист или дежурный по пульта, на некотором отдалении — ДСП. Характерной особенностью этой формы организации является то, что между работниками существует большая разница в правах. Дежурный по станции — ответственное лицо, сигналист — только исполнитель команд ДСП; 5) два ДСП у пульта и оператор. В этом случае оба дежурных юридически имеют права и обязанности ДСП, но один из них — главный. В ходе дежурства они обычно меняются и могут передохнуть на менее напряженном и менее ответственном участке; 6) наконец, в настоящее время ДНЦ самостоятельно в ряде случаев может осуществлять диспетчерское управление на станции АРМа Центра.

Имитация действий производится для каждого задания путем выполнения математических действий над данными для элементарных операций, взятых либо из заранее подготовленных сведений о задании, либо из данных о результатах ремонта оборудования с имитируемыми неисправностями. Имитация элементарных операций по ремонту оборудования производится автоматически по методу Монте-Карло в соответствии с установленными вероятностями отказов основных систем. Также данные могут быть взяты из системы КАСАНТ.

Следующий сегмент модели имеет дело с подбором рабочей группы (блок 14 рис. 12.7). Модель предусматривает подбор группы для выполнения каждой отдельной элементарной операции. Персонал отбирается в группу с учетом времени, проработанного в течение дня уровня зарплаты (в первую очередь отбираются лица с наименьшей зарплатой) и уровня квалификации, или профессиональной дееспособности (предпочтение отдается лицам с наивысшей квалификацией).

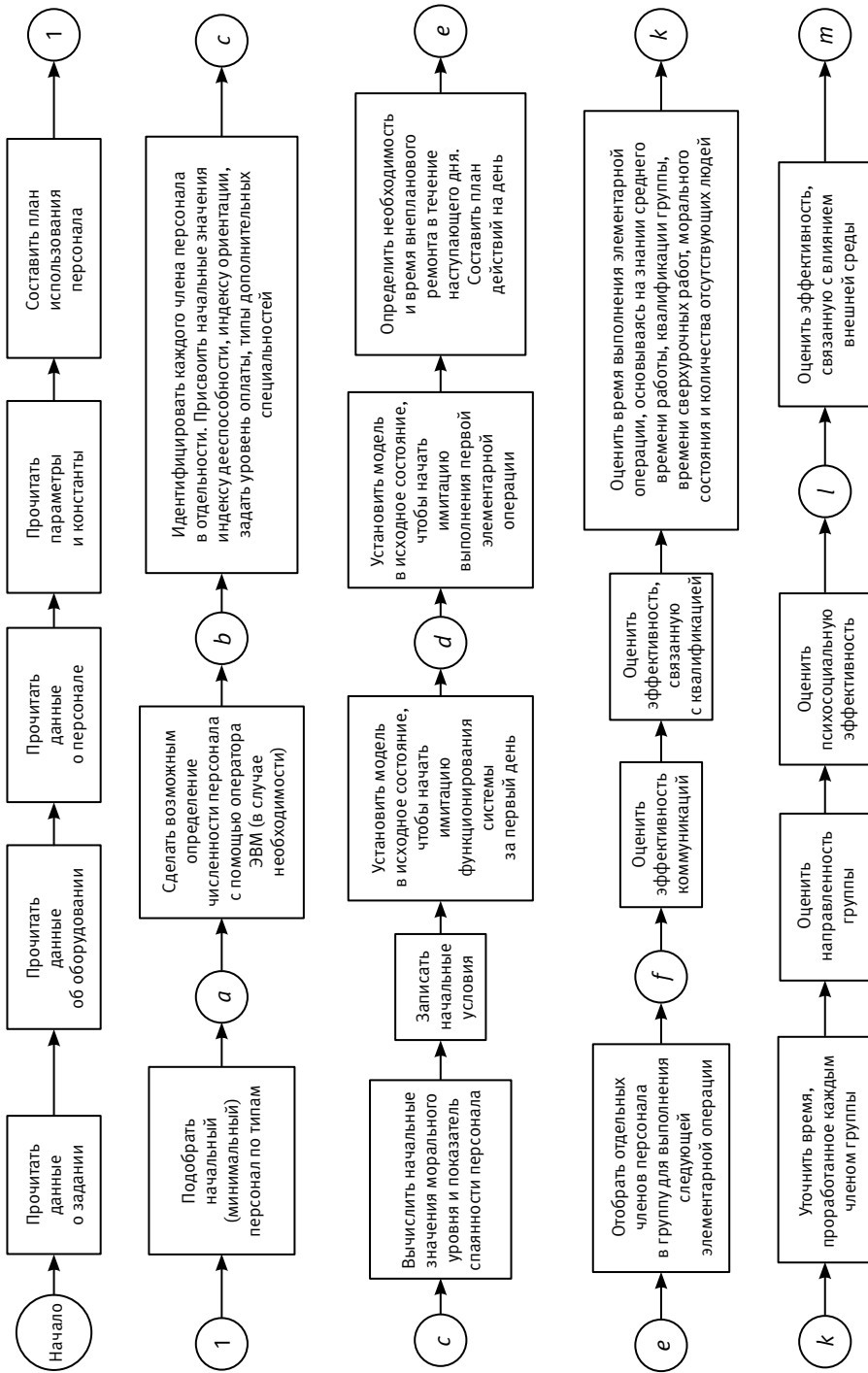


Рис. 12.7. Укрупненная блок-схема модели (буквы в кружках соответствуют обозначениям, принятым в модели Зигеля–Вольфа)

Имитация собственно элементарной операции производится в следующем основном сегменте модели (блок 30, см. рис. 12.7). Работа этого блока характеризуется следующими тремя особенностями:

1. Для расчета времени выполнения определяется время, затрачиваемое группой на выполнение элементарной операции. Расчет базируется на квалификации (профессиональной дееспособности) членов группы, их перегруженности, моральном состоянии, количестве людей, которые требуются для выполнения элементарной операции, но которых нет в наличии, а также на средних временных показателях, вводимых в качестве исходных данных. Как видно из хронометража элементарных операций, совершаемых ДСП, среднее время измеряется в десятых долях часа.

2. Эффективность деятельности группы вычисляется на основе предварительных оценок эффективности, в которых учитываются следующие четыре элемента:

а) коммуникация — функция числа укомплектованных персоналом рабочих постов и факторов каналов связи, равномерности нагрузки, изолированности рабочих постов и помех.

Модель предполагает разбиение всей имитируемой системы на  $N$  рабочих постов. На каждом из них размещаются различные элементы или системы оборудования, которые дают персоналу поезда возможность выполнять предписанные элементарные операции.

Отличительная особенность моделируемой системы диспетчерского управления — это динамическое изменение одного из рабочих постов — электровоза. Поэтому модель группового поведения желательно дополнить информацией о постоянности управляемых объектов для каждого имитационного прогона.

Матрица возможных коммуникаций рабочих постов, подготовленная машиной, содержит для каждого поста данные о наличии коммуникаций с другими рабочими постами.

Оценка надежности коммуникаций между рабочими постами определяется наличием оборудования для компьютерной, радио- и телефонной связи. В модели также учитывается, что случайные помехи могут оказать воздействие на эффективность коммуникационных связей и предусматривается соответствующая корректировка.

Коммуникации внутри рабочего поста предполагается осуществлять акустическими средствами. Если элемент матрицы принимает значение 1, то это указывает на готовность линии связи; значение 0 говорит о невозможности коммуникации (диагональные элементы произвольно полагаются равными нулю);



б) профессиональная дееспособность (квалификация) группы — функция текущих уровней дееспособности членов группы по требуемым специальностям.

Составляющая эффективности, связанная с профессиональной дееспособностью персонала, вычисляется как средняя текущая значений индексов квалификации членов рабочей группы. Эта составляющая характеризует повышение эффективности деятельности центра, когда квалификация членов рабочей группы возрастает, и снижение эффективности в противном случае. Следует отметить, что в модели уровни квалификации каждого отдельного работника определяются в начале задания и пересматриваются в ходе его выполнения в соответствии с результатом каждой элементарной операции;

в) ситуация — функция изредка возникающего угрожающего положения (непредвиденных обстоятельств).

В нашей модели воздействие внешней среды характеризуется возникновением неожиданно возникшего происшествия при выполнении ДСП или ДНЦ производственной деятельности.

Эта форма деятельности ДСП или ДНЦ является наиболее высокой нагрузкой на всю эмоциональную сферу и обычно определяет степень утомления во время дежурства. Характерным является то, что происшествие выступает как событие внешнее по отношению к самому процессу организации движения поездов, и, как правило, оно бывает неожиданным. Отсутствие связи происшествия с логикой производственного процесса, а также внезапность его появления составляет причину того, что деятельность диспетчера в условиях происшествия сопровождается ярко выраженной аффективной окраской.

В качестве иллюстрации можно привести следующий пример.

Из-за неисправности сигнала в связи с ремонтом централизации перед прибывающим на свободный путь поездом загорается красный сигнал. Поезд останавливается и закрывает собой четный главный путь. Возникает угроза задержки движения. Дежурный посылает оператора с «проводником» (документом, по которому осуществляется прием поезда на свободный путь при закрытом входном сигнале) к машинисту поезда. Создавшаяся ситуация вызывает у дежурного серьезную эмоциональную вспышку — в резких тонах приказывает он работникам связи прекратить ремонт линии. Однако работа на станции не прекращается. Выясняя сложившуюся обстановку, принимая меры к отправлению остановившегося поезда, дежурный продолжает выполнять операции по пропуску поездов через свободный нечетный путь, а также прокладывает маневровые маршруты.

Этот эпизод демонстрирует характерные для деятельности дежурного условия протекания операций — организацию движения на фоне неожиданно

возникшего происшествия. В этом случае протекание операций связано с более или менее напряженным эмоциональным фоном, который предъявляет высокие требования к психологическим особенностям дежурного, к умению совмещать решение неожиданно возникшей задачи с выполнением других действий;

г) психосоциальные отношения — случайная нормально распределенная величина, среднее значение которой является сложной функцией направленностей рабочей группы, центра в целом и элементарной операции.

Давно замечено, что имеется условие, которое создает известное напряжение даже в относительно простом виде деятельности. Это фактор *ответственности*, сопровождающий каждое действие дежурного по станции, поездного диспетчера и других работников, связанных с безопасностью движения поездов.

В нашей модели одним из центральных компонентов выступает психосоциальная эффективность. Вычисление психосоциальной эффективности  $E_{\text{дв}}$  для диспетчерской операции производится в соответствии со сложными 16-членными формулами, основанными на учете трех векторов направленности, которые принимают следующие формы: личностная коллективистская и деловая. Первые две формы отражают направленность действия на удовлетворение личных и коллективных потребностей, последняя — его направленность прежде всего на выполнение задания в целом или каждой элементарной операции.

Мы считаем, что направленность на задание — это и есть проявление ответственности. Можно привести большое число примеров техногенных катастроф, особенно происшедших в последнее время, на транспорте и промышленности, когда основной причиной их явилось смещение пропорций личной, групповой и деловой направленности. В обыденном сознании этому соответствует общепринятое выражение «потеря ответственности».

Рассмотренные модели индивидуальной и групповой деятельности на железнодорожном транспорте должны входить в состав единой имитационной модели человеко-машинной (эргатической системы).

Кстати, целесообразность и, более того, необходимость такого построения единой модели признает и Д. Ю. Левин, когда пишет, что рассматривая движение поездов и оценивая возможную интенсивность потока, необходимо характеризовать по существу не только участок, а при определенных условиях — комплекс (поток поездов — машинисты — участок).

Это объясняется тем, что машинисты могут оказывать не меньшее влияние на пропускную способность, чем параметры участка. К этому надо добавить еще и значимость учета человеческого фактора в лице диспетчерского персонала.

Из модели движения поездов может извлекаться необходимая информация для программных элементов модели деятельности человека-оператора

или рабочей группы и наоборот. Результаты, полученные в этих имитационных моделях, могут быть использованы при решении самых различных задач по оптимизации перевозочного процесса.

В этой связи встает вопрос о единообразии выбора языка написания программ для ЭВМ при реализации моделей. Для этого нужно использовать материал главы 6, где представлены и проанализированы различные языки программирования, используемые для имитационного моделирования.

Также модель имитирует поведение оператора (с учетом влияния на него других операторов) при поступлении потока задач. Такой режим является характерным для большинства автоматизированных систем управления. Необходимость взаимодействия с другими операторами приводит к тому, что у исследуемого оператора увеличивается коэффициент загрузки и возрастает интенсивность потока поступающих задач (добавляются задачи, обусловленные взаимодействием: запросы, взаимный контроль выполняемых действий, исправление ошибок и т. п.). Кроме того, модель может учитывать тот факт, что при совместной работе возможен контроль за выполнением тех или иных действий со стороны других операторов. Это способствует повышению вероятности безошибочного выполнения их действий, однако зачастую возможно увеличение времени их выполнения, особенно когда завершение работы оценивается по последнему исполнителю. Модель позволяет получить характеристики деятельности оператора в зависимости от плотности потока решаемых задач и интенсивности взаимодействия.

Для исследования официальных структур в малой группе могут применяться математические методы теории графов. При изображении малой группы в виде графа операторы представляются его вершинами, а взаимосвязи между ними — ребрами. Граф, на котором направления всех его ребер указаны с помощью стрелок (например, взаимосвязи между операторами), называется ориентированным. Иногда ребра помечают знаками «плюс» или «минус» (например, соответственно положительный и отрицательный выбор при оценке людьми друг друга). Такие графы называются знаковыми. Граф, в котором каждая вершина может быть соединена некоторой цепью с любой другой его вершиной, называется связным.

Анализируя графы, можно получить ряд оценок эффективности групповых структур. Например, знаковый граф позволяет выяснить степень сплоченности и устойчивости группы, возможность конфликтных ситуаций, возникновение напряженности в группе. Такой анализ является одной из разновидностей рассмотренного ранее социометрического метода. Сплоченность группы оценивается нормированным минимальным числом дуг, которые нужно удалить,

чтобы граф стал несвязным. При удалении этих связей структура разбивается на подгруппы, не связанные между собой. Устойчивость группы оценивается нормированным минимальным числом вершин, которые нужно удалить, чтобы граф стал несвязным. Конфликтные ситуации будут отсутствовать в сбалансированной группе. Последней соответствует сбалансированный граф, все циклы которого положительны (рис. 12.8). Условие баланса позволяет строить групповые структуры, исключаящие конфликты между людьми.

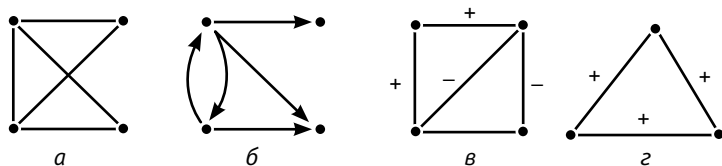


Рис. 12.8. Типы графов:  
а — простой граф; б — то же, ориентированный;  
в — то же, знаковый; г — сбалансированный граф

Применение методов теории графов позволяет получить и некоторые количественные показатели групповой структуры. Основные из них — *живучесть* и *момент группы*. Под живучестью группы понимается число ее состояний, при которых группа сохраняет работоспособность. Количественно живучесть оценивается отношением числа «избыточных» связей к минимально необходимому

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n d_i - 2(n-1)}{2(n-1)},$$

где  $n$  — число операторов в группе;

$d_i$  — количество связей  $i$ -го оператора.

В случае жесткого подчинения  $K = 0$ , т. е. с потерей хотя бы одной связи, группы как таковой уже не будет. Под связью между членами группы понимается их любое информационное взаимодействие, как командное, так и осведомительное.

Момент группы характеризует управляемость группой со стороны лидера и вычисляется по формуле

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{d_l^2} \sum_{i=1}^n (d_l - d_i),$$

где  $d_l$  — число связей лидера группы.

При прочих равных условиях структура группы будет тем эффективнее, чем больше значения показателей  $K$  и  $M$ . В заключение необходимо отметить, что применение теории графов дает лишь способ формального анализа групповой структуры. Поэтому он обязательно должен дополняться содержательным социально-психологическим анализом групповой деятельности. В противном случае анализ групповых структур, каким бы корректным с математической точки зрения он ни был, может оказаться просто бессмысленным.

Большой интерес для эргономики представляют аппаратурные методики моделирования и изучения групповой деятельности. В основе конструирования аппаратурных методов и их классификации лежат следующие принципы:

- технический (особенности конструкции, функциональные возможности модели, способность регистрации различных компонентов деятельности);
- общепсихологический (включенность различных психических процессов в моделируемую деятельность);
- социально-психологический (характер, тип, уровень взаимосвязанности личности действий при выполнении заданий).

Принято выделять на основе данных критериев следующие группы аппаратурных моделей:

- модели сравнительной оценки индивидуальных вкладов (Арка, Лабиринт, Эстакада);
- модели суммарного воздействия (ритмограф, волюнтограф);
- модели многосвязанного управления равновесием в системе (гомеостат);
- модели многосвязанного управления движущимся объектом (кибернометр, групповой сенсомоторный интегратор).

Вышеперечисленные методы являются достаточно адекватными природе изучаемых психологических явлений. Обычно степень эффективности и достоверности этих методов определяется совпадением полученных в эксперименте данных с практикой, с результатами применения других методов.

Определенной разновидностью аппаратурных методик являются также испытания на тренажерах: профессиональные умения, выполнение полета на самолете, управление движением воздушным транспортом, имитаторы езды на автомобиле и др.

Одной из первых среди них явилась гомеостатическая методика, в основе которой лежит моделирование совместной и взаимосвязанной работы операторов с помощью специальной установки, получившей название «Гомеостат» (рис. 12.9).

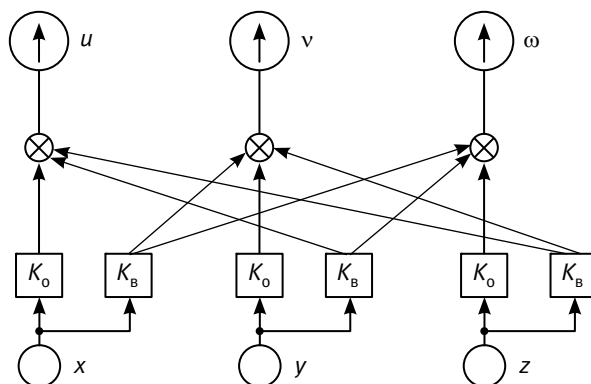


Рис. 12.9. Принцип работы прибора «Гомеостат»

В этой установке использована идея взаимных перекрестных связей, через которые каждый из трех операторов, решая свою частную задачу, влияет на ход работы остальных операторов. В распоряжении каждого оператора имеется одна из рукояток управления ( $x, y, z$ ), поворот которой передается на один из индикаторов ( $u, v, w$ ), находящийся в поле зрения оператора. Между рукояткой и индикатором включено простое усилительное звено с коэффициентом усиления  $K_O$ .

Каждый оператор видит только свой индикатор. Кроме цепей основного управления ( $K_O$ ) этот индикатор содержит и перекрестные связи от рукояток других операторов с коэффициентом взаимного влияния  $K_B$ . Степень взаимной связи операторов определяется отношением, которое может быть как положительным, так и отрицательным.

$$K_{CB} = \frac{K_B}{K_O}.$$

Задача операторов заключается в следующем: поворачивая рукоятки, установить индикаторы за определенное время в нулевое положение. Это означает, что в результате работы состояние схемы, представленной на рис. 12.9, должно описываться системой уравнений:

$$x + Ky + Kz = 0,$$

$$Kx + y + Kz = 0,$$

$$Kx + Ky + z = 0.$$

Следовательно, проблема разработки гомеостатической методики является не только психологической, но и математической. Для ее решения были проведены специальные исследования, которые позволили установить область допустимых значений  $K_{\text{св}}$ , т. е. таких значений, при которых система уравнений имеет решение. В зависимости от введенной величины  $K_{\text{св}}$  решаемые оператором задачи были классифицированы по степени трудности. Например, если группа успешно решала задачу при  $K_{\text{св}} = 0,8-1,0$ , это свидетельствовало о хорошем взаимопонимании членами группы друг друга.

С помощью регистрации на осциллографе движений всех ручек и стрелок приборов и вычисления на основе этого коэффициентов корреляции между скоростью вращения ручки и показаниями прибора можно судить о позиции каждого оператора в группе (лидер или ведомый). Обнаружено, что более успешно решают гомеостатические задачи те группы, в которых роль лидера берет на себя ее руководитель. Эти же группы, как правило, более успешно решают и реальные производственные задачи, аналогичные по своему характеру гомеостатическим.

Исследования, проведенные по гомеостатической методике, позволили получить целый ряд полезных результатов, способствующих раскрытию общих закономерностей групповой деятельности операторов. Вместе с тем эти исследования обнаружили и определенную ограниченность данной методики, затрудняющую применение ее для анализа групповой деятельности операторов АСУ. Эта ограниченность проявляется в следующем:

- при работе на гомеостате операторы решают совместную психомоторную задачу непрерывного типа; для деятельности операторов АСУ более характерно решение мыслительных задач дискретного характера;
- при работе на гомеостате операторы создают взаимные «помехи» друг другу (действия одного оператора влияют на показания приборов других операторов); в реальных же АСУ групповая деятельность обычно организуется так, что операторы в процессе информационного взаимодействия взаимно помогают друг другу;
- при работе на гомеостате деятельность каждого оператора опосредуется текущими результатами совместных действий; для операторов АСУ более характерно взаимодействие через конечный результат серии промежуточных действий.

Отмеченные особенности, характерные для групповой деятельности операторов АСУ, дают возможность моделировать устройство, описанное в работе. Кроме того, устройство позволяет вести оценку групповой деятельности в единицах количества информации, что облегчает сравнивать ее с информационной

деятельностью операторов реальных АСУ. Устройство моделирует деятельность, близкую к той, которую выполняет группа операторов одного яруса управления АСУ. Применение устройства позволяет оценить информационные возможности группы операторов, определять личный вклад каждого оператора в решение групповой задачи, выявить резерв информационных возможностей группы, производить комплектование равноценных групп операторов.

Для современного производства характерным является широкое внедрение многоярусных иерархических АСУ. В них происходит взаимодействие операторов как внутри одного уровня управления, так и между операторами различных уровней. Другими словами, здесь происходит взаимодействие в системе «диспетчер — группа операторов». Для исследования такого взаимодействия предназначена одна из модификаций прибора «Кибернометр». Прибор позволяет дать оценку эффективности взаимодействия диспетчера с группой работающих операторов, включенных в общую систему управления. Он моделирует основные функции взаимодействия операторов и управления группой. Важнейшими из них являются овладение диспетчером средствами реализации совместных действий, получение необходимой информации о ходе решения групповой задачи, перераспределение обязанностей между членами группы.

Аппаратурные методики позволяют моделировать в лабораторных условиях различные виды групповой деятельности — от простого психомоторного взаимодействия до координационного взаимодействия операторов в иерархических системах управления. Обоснованный выбор методики, адекватно моделирующей реальную групповую деятельность, является непременным условием для получения достоверных результатов. Повышению достоверности способствует также дополнение результатов аппаратурных исследований результатами, полученными с помощью других методов — социометрии, анализа физиологических реакций исследуемых операторов, наблюдения за их поведением в процессе работы.

## 12.4. Принципы формирования групп

Рассмотренные закономерности и особенности групповой деятельности позволяют сформулировать основные принципы формирования операторных групп [3].

Одним из первых вопросов, решаемых при формировании группы, является определение ее численности. Как уже отмечалось, для каждого вида групповой деятельности существует оптимальная величина группы. Эта величина



определяется обычно на основании общих трудозатрат. Для операторов транспортных систем общие трудозатраты на управление СЧМ находятся по формуле

$$W_y = 24ZA + 24A \sum_{i=1}^m \lambda_i T_i + 24A \sum_{j=1}^s \lambda_j T_j,$$

где  $Z$  — количество непрерывно функционирующих пультов;

$A$  — рассматриваемый промежуток работы СЧМ;

$\lambda_i, \lambda_j$  — соответственно частота поступления заявок на управление для пультов с периодическим и эпизодическим функционированием;

$T_i, T_j$  — время обслуживания заявок;

$m, s$  — соответственно число заявок для обоих видов пультов.

На основе общих трудозатрат определяется численность группы операторов:

$$n_y = \frac{W_y}{qA} = \frac{24 \left( Z + \sum_{i=1}^m \lambda_i T_i + \sum_{j=1}^s \lambda_j T_j \right)}{q},$$

где  $q$  — продолжительность рабочего дня операторов.

Следующим этапом является определение организационной структуры группы. Виды возможных структур показаны на рис. 12.1, рекомендации по выбору структуры группы в зависимости от характера решаемых ею задач приведены в параграфе 12.2. С вопросом определения групповой структуры неразрывно связана и задача определения информационных связей между членами группы. Для каждого вида групповой деятельности существует оптимальная интенсивность общения; эта интенсивность находится в результате содержательного психологического анализа групповой деятельности.

При организации информационного взаимодействия операторов очень важно определить не только интенсивность общения, но и его характер. Вид коммуникации между операторами (слуховая или зрительная) зависит от условий задачи, загруженности анализаторов взаимодействующих операторов и возможностей технической реализации выбираемых способов общений.

Перечисленные задачи решаются преимущественно на этапе проектирования СЧМ.

Рассмотренная последовательность этапов (определение величины группы, ее организационной структуры и характера информационных связей) не носит однозначно прямолинейный характер. Эта схема отражает лишь общую стратегию решения задачи по организации групповой деятельности. Фактически же решаемая задача носит итерационный, циклический характер со взаимными

переходами и обратными связями и решается методом последовательных приближений и уточнений. Окончательное проектное решение затем уточняется и корректируется в процессе испытаний и эксплуатации СЧМ. Здесь прежде всего нужно уделить внимание вопросам группового отбора операторов. Цель отбора — выявление наиболее обучаемых групп, характеризующихся высоким уровнем эффективности групповой взаимосвязанной деятельности и устойчивости к действию внешних неблагоприятных факторов; это может быть обеспечено подбором совместимых в требуемом отношении людей. Рассмотрим возможные способы решения этих вопросов.

В состав группы следует включать индивидуумов, на подготовку которых требуются примерно одинаковые затраты времени и средств (учебная совместимость), что позволит всем им выполнять работу примерно на одинаковом квалификационном уровне.

Кроме того, группа должна обладать необходимыми для выполнения данной деятельности совокупными групповыми свойствами. Как уже отмечалось, состав этих свойств, подобие их или дополнение друг друга у отдельных операторов зависят от конкретного вида групповой деятельности. В соответствии с этим для формирования совместимости должен быть использован принцип максимального использования особенностей каждого члена группы или принцип взаимной компенсации. Выбор принципа и состава свойств, которые ему должны удовлетворять, определяется в результате содержательного психологического анализа групповой деятельности.

В наиболее общем виде групповой отбор производится в следующей последовательности [3]. На начальных этапах следует обращать внимание на индивидуально-психологические особенности кандидатов, их коммуникативные свойства (в зависимости от характера взаимодействия — непосредственное и опосредованное), функциональные возможности анализаторов и центральной нервной системы при совместной деятельности.

В дальнейшем выявляются спонтанные контакты между кандидатами (межличностные взаимоотношения), проводится выделение наиболее обучаемых групп. На этом этапе обязателен учет предстоящей деятельности и функциональных обязанностей входящих в эту группу лиц.

Особое место должно занимать изучение предварительно отобранных групп в экстремальных условиях. По возможности проводится обучение и тренировка отобранных групп на макетах и тренажерах. В этот период важным вопросом группового отбора является правильное определение психофизиологической структуры группы и соответствие ей типов коммуникативного поведения (лидер, ведомый, сотрудничающий и т. п.) отбираемых кандидатов. Особое вни-

мание обращается на выбор лидера. Использование в этой роли человека, выявленного на предварительных этапах отбора, крайне целесообразно, так как это резко повышает эффективность групповой деятельности и предупреждает возможность развития конфликтных ситуаций.

На заключительном этапе отбора проводится интегративная оценка эффективности группы. С этой целью определяется, какие формы взаимодействия (психомоторное, коммуникативное, при решении мыслительных задач и т. п.) преобладают в предстоящей групповой деятельности. В соответствии с этим выбирается тип моделирующего устройства (гомеостат, кибернометр и т. д.). С помощью выбранного устройства проводится оценка совместной деятельности, при необходимости осуществляется корректировка состава группы.

Формирование группы продолжается также в процессе группового обучения операторов. Помимо общих принципов обучения при групповом обучении необходимо обеспечить: высокую профессиональную подготовку операторов, удовлетворяющую требованиям совместной деятельности и включающую в себя групповое обучение навыкам совместных действий по профессиональному взаимодействию; формирование у членов группы ценностных ориентации, высокой мотивации к совместной работе и стремления к сотрудничеству; организацию соревновательного духа подготовки, создание равных для всех участников условий соревнования; необходимую взаимозаменяемость определенных специалистов в процессе групповой деятельности; опору на точные знания личностных характеристик членов группы и особенностей ее функционирования; обучение руководителя группы принципам внутригруппового управления.

В процессе непосредственной эксплуатации СЧМ большая роль принадлежит управлению групповой деятельностью. Под его влиянием формируются и регулируются внутригрупповые отношения. Не вдаваясь подробно в существо этого вопроса, отметим лишь, что правильное управление групповой деятельностью способствует предупреждению или смягчению конфликтной напряженности и обеспечивает эффективную работу группы.

Основными задачами управления группой являются: организация оптимального распределения функциональных обязанностей между членами группы в соответствии с их профессионально-ролевой ориентацией и индивидуально-психологическими свойствами; специальная подготовка и обучение руководителя группы (лидера) навыкам и приемам управления малой группой; формирование групповых норм и общегрупповых ценностей, способствующих успешному выполнению групповой деятельности; осуществление мероприятий, препятствующих образованию замкнутых подгрупп (при общих размерах группы более 4–5 человек).

Перечисленные задачи начинают решаться в процессе групповой подготовки и завершаются в процессе непосредственной групповой деятельности.

## Контрольные вопросы

1. Как осуществляется взаимодействие операторов в группе?
2. Как осуществляется организация групповой деятельности?
3. Назовите методы изучения коллективной деятельности.
4. Охарактеризуйте принципы формирования групп.

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
2. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
3. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
4. Стрелков Ю. К. Практикум по инженерной психологии и эргономике / Ю. К. Стрелков. — М. : Академия, 2003. — 400 с.

## Глава 13

# Профессиональное обучение операторским профессиям

**Обучение и тренировка операторов.** Организация системы знаний оператора. Роль схем, позволяющих структурировать явления в сфере профессиональной деятельности. Общая схема выработки навыка. Этап умения и его роль в формировании навыка. Математическая модель приобретения и утраты навыков на основе формальной теории обучения.

### Психолого-педагогические принципы тренажеростроения

Современные тренажерные технологии. Психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки водительского и диспетчерского состава. Адаптивные системы в тренажеростроении.

Наряду с профотбором, который необходим для обеспечения максимальной эффективности и надежности работы человеко-машинных систем в целом и транспортных систем в особенности, огромное значение имеет такое универсальное средство профессиональной подготовки, каковым является обучение.

## 13.1. Формирование навыков и умений

**Обучение и тренировка операторов.** В процессе обучения, жизни и деятельности каждый человек накапливает знания, относящиеся к различным областям. При этом одни усвоенные знания могут служить основой и содействовать овладению новыми знаниями, в других возможно возникновение взаимной интерференции знаний, то есть отрицательное влияние усвоенных знаний на вновь усвояемые знания. Эти моменты важно учитывать в организации обучения: в определении последовательности тем, порций материала, сообщаемого на каждом занятии и т. д.

С психологической точки зрения знания могут выступать в форме наглядных представлений (образов) и понятий, являющихся абстрактным или обобщенным отражением действительности. Одним из существенных свойств

системы знаний оператора является такая ее организация, которая обеспечивает возможность легкого перевода (трансформации) наглядных представлений в понятия и наоборот.

Это составляет важнейшее условие формирования концептуальных моделей, оперативных образов, субъективных моделей управляемого объекта и среды, которые осуществляют функцию регуляторов операторской деятельности. В этой связи достаточно остро встает вопрос о психологической структуре профессиональной компетентности и процессе ее формирования. До недавнего времени считалось, что человек в процессе своей профессионализации просто накапливает знания, которые и позволяют ему более успешно решать возникающие перед ним задачи. Однако последние работы в области когнитивной психологии показали, что не большой объем знаний и не более высокий общий интеллект отличают способность профессионалов эффективно ставить и решать задачи в своей области. Лауреат Нобелевской премии Г. Саймон, воспользовавшись проведенной ранее работой А. де Грота, исследовал мышление профессионала на модели мышления шахматиста. Кстати, напомним, что известный отечественный психолог В. Н. Пушкин при исследовании оперативно-го мышления также использовал решение шахматных позиций. А. де Грот обнаружил, что высококвалифицированные шахматисты (мастера и гроссмейстеры) незначительно превосходят менее сильных игроков скоростью, глубиной и широтой расчета вариантов, но зато демонстрируют исключительную шахматную память. Предъявляя сложные позиции на короткое время (2–10 с), он показал, что квалифицированные шахматисты правильно воспроизводят положение значительно большего количества фигур на доске.

Саймон предположил, что дело здесь не в самих способностях кратковременной памяти шахматистов, а в том, что они обладают большим количеством паттернов, описывающих типичные пешечные фигурные структуры на шахматной доске. Столкнувшись с новой позицией, хороший шахматист видит не 20–30 разрозненных фигур, а несколько знакомых конфигураций, каждая из которых включает определенное число фигур и пешек. Эти несколько конфигураций не переполняют кратковременную память и могут быть правильно воспроизведены. Свои рассуждения Саймон подкрепил экспериментами и компьютерным моделированием. Дополнив эксперименты Грота, он показал, что хорошие шахматисты действительно показывают высокие результаты при воспроизведении осмысленных позиций, однако они не отличаются от новичков, если фигуры расставлены на доске в случайном порядке.

По оценкам Саймона, мастера при воспроизведении позиций запоминают в среднем 7,7 паттернов по 3,8 фигур в каждом. Игрок класса А (примерно 2-й

разряд по отечественной классификации) воспроизводит 5,7 паттернов по 2,6 фигур. По мнению Саймона, результаты мастеров могут быть объяснены наличием у них в долговременной памяти порядка 50 000 типичных паттернов позиций фигур на доске. Предполагается, что с каждым паттерном в памяти игрока ассоциируется определенный план действий, что и объясняет успешность мастеров и гроссмейстеров в нахождении хороших ходов. Свою идею Саймон трактует широко: по его мнению, профессионалы в разных областях — управленцы, ученые, врачи и т. д. — в результате многолетней практики образуют в своей долговременной памяти тысячи схем, позволяющих им структурировать явления в сфере их профессиональной деятельности. Эти схемы не являются знаниями в собственном смысле слова, они не формулируются и не осознаются субъектами. Схемы срабатывают очень быстро, за доли секунды, в результате чего профессионал «видит» наиболее существенные аспекты ситуации, быстро в ней ориентируется и запоминает. Поскольку схемы не являются осознанными, они не могут быть сообщены одним человеком другому, а могут быть лишь выработаны в результате длительной тренировки. С этим же связана и проблема формулировки экспертом своих знаний, с которой столкнулись исследователи искусственного интеллекта, точнее экспертных систем.

Оказалось, что специалисты не могут сформулировать те принципы, на основании которых они принимают правильные решения на практике. Например, врачи, обладающие хорошими способностями в диагностике заболеваний, не могут передать свои навыки компьютеру, поскольку сами не вполне осознают, за счет чего они правильно ставят диагноз. С позиции Саймона, все это объясняется неосознанными схемами в долговременной памяти эксперта. Формирование набора схем в долговременной памяти после работ Саймона признается важной стороной мышления эксперта.

Кроме знаний профессионал должен обладать определенными навыками. Навык — это автоматизированный элемент сознательного действия, который вырабатывается в процессе выполнения этого действия. Любая профессиональная деятельность представляет собой сложный процесс и требует переработки большого объема информации. Для эффективной работы необходимо часть информации «вывести» из поля сознания и осуществить ряд действий автоматически. Эту функцию и выполняет навык. Формирование любого навыка начинается с получения информации о состоянии среды в форме какого-либо сенсорного сигнала.

Общая схема выработки навыка заключается в следующем. В процессе деятельности на человека многократно воздействуют сходные раздражители (например, выполняется однотипная производственная операция). Под влиянием

раздражителей у оператора формируется определенная программа поведения реагирования на эти раздражители, которая закрепляется и «передается» на уровень подсознательного контроля. Эта программа не тождественна с единичным ответом в схеме рефлекса. Она представляет собой умение действовать в определенной ситуации с большой степенью приспособляемости к этой ситуации. Формирование профессиональных навыков происходит не пассивно, а под влиянием специально фиксированных упражнений, включенных в систему профессиональной подготовки.

*Упражнение* — это основной способ закрепления навыка. Одним из важнейших практических вопросов является вопрос о количестве упражнений, необходимых для полной отработки навыка. Количество используемых упражнений зависит от скорости формирования психологической системы действия. Чем быстрее формируется психологическая система действия, тем меньше требуется упражнений. Наличие у обучаемого психологической системы действия определяется по таким признакам, как: ясное осознание цели действия и наличие четкого мотива для его выполнения; наличие ориентировочной основы действия в виде схемы необходимых и достаточных информационных признаков, на которые ориентируется учащийся при выполнении действия; частичная автоматизация действия; наличие системы обратной связи и сформированный на ее основе внутренний самоконтроль выполнения действия; «запуск» системы саморегуляции действия, направленной на устранение недостатков и исправление ошибок; систематическое улучшение показателей качества работы и увеличение темпа деятельности.

Наличие данных признаков позволяет считать навык сформированным и закончить регулярные упражнения по его отработке. Однако, если упражнения прекратить полностью и одновременно не выполнять действие, навык может постепенно разрушаться. Для его восстановления требуется новая серия упражнений. Наиболее полную теорию психофизиологического механизма формирования сенсомоторного навыка предложил Н. А. Бернштейн. Конструктивно дополнена эта теория была концепцией П. К. Анохина и моделью поведенческого акта и анализом структуры психической функции, предложенными Б. Г. Ананьевым. Таким образом, на сегодняшний день имеются серьезные теоретические основы для разработки практических способов формирования навыков и включения их в систему профессиональной подготовки. Промежуточный этап овладения новым способом действия на основе полученного знания, но не достигшего уровня навыка, называют умением. *Умение* — это знание, которое понятно обучаемым и правильно воспроизводится, выступая в форме правильно выполняемого действия и приобретшего некоторые черты оперативности.



На этапе умения усвоенный способ действия регулируется знанием, и по мере тренировки достигается преобразование умения в навык, при котором происходит изменение ориентировочной основы действия. Умение включает в себя сложную систему психических и практических действий. При наличии умения под контролем сознания человек успешно выполняет то или другое действие. Результативное выполнение сложного действия и есть внешнее выражение выработанного умения.

Формирование умений, по мнению К. К. Платонова, проходит ряд стадий: первоначальное умение; недостаточно умелое действие; развитые отдельные умения (умелые, относительно закономерные моменты действия); высокоразвитые умения; мастерство. На этапе умения полный сознательный контроль обеспечивает оперативную перестройку системно-структурированной основы действия при существенном нарушении условий его осуществления. В этом плане умение отличается от навыка. Навык имеет стандартизированную форму и при радикальном изменении условий осуществления может стать неадекватным.

Важным свойством оператора является умение произвольно регулировать свое состояние, используя резервы собственного организма. При определенных условиях человек может научиться регулировать различные физиологические функции (пульс, давление крови и др.). Кроме знаний, навыков, умений в процессе обучения необходимо сформировать ряд других качеств: эмоциональную устойчивость, самообладание и др.

Идеи когнитивной психологии и их практические реализации в сфере менеджмента породили в профессиональной педагогике так называемый «компетентностный подход», в котором декларируется требуемый уровень развития когнитивных инструментов учащихся в соответствии с этапами обучения и развития личности. Компетентностный подход предполагает усвоение учащимся не суммы знаний информации), а различного рода умений, позволяющих действовать эффективно в различных ситуациях профессиональной, личной и общественной жизни. Это форма тестологического подхода отражает известный эмпирический факт, показывающий различный уровень владения учащимися своими когнитивными инструментами. Компетентностный подход реализуется в предположении, что педагог и учащиеся используют заведомо самые эффективные из известных способы решения задач. Обучение должно быть индивидуализированным, то есть у каждого человека должен сформироваться его собственный, индивидуальный стиль деятельности, соответствующий его способностям (темпераменту, инертности или подвижности нервной системы и т. п.).

Процесс обучения специалиста должен продолжаться до тех пор, пока обучаемый не выйдет на определенные уровни частоты ошибок, времени выполнения заданного алгоритма деятельности и относительной стабильности результатов. Для количественной оценки периодичности тренировок операторов и продолжительности самих тренировок можно воспользоваться математической моделью, в основу которой положена формальная теория обучения, восходящая к К. Л. Халлу. Проблема обучения традиционно является одной из центральных в психологической науке.

И хотя многие исследователи изучали разные объекты этой проблемы наиболее сильное влияние на развитие монотонных асимптотических моделей обучения оказал именно Халл. Он предположил, что высший (асимптотический) уровень навыка определяется рядом факторов, таких как интенсивность потребности, подкрепления условного стимула, а также временными характеристиками стимулов и реакций. Им введены были также постулаты относительно генерализации стимула и его угасания. На основе этих посылок, а также частных теорем об обучении различению, структурированию стимулов, их самопроизвольном восстановлении и других теорем, К. Л. Халл получил основную формулу для расчета силы навыка:

$${}_sH_R = M(1 - e^{-iN}), \quad (13.1)$$

где  ${}_sH_R$  — ассоциативная переменная (сила навыка), связывающая стимул  $S$  и реакцию  $R$ ;

$M$  — предельное, асимптотическое значение силы навыка;

$N$  — число обучающих опытов;

$i$  — параметр скорости обучения;

$e$  — основание натуральных логарифмов.

Эта модель использует подход, предложенный А. Йостом, на основе развития теории двух следов памяти Мюллера-Пильцера. Для описания прочности следа или ассоциации  $z$  Йост использовал дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dz}{dx} = \mu(\lambda - z), \quad (13.2)$$

где  $z$  — прочность следа или ассоциации;  $\mu, \lambda$  — некоторые константы для случая забывания;  $x$  — независимая переменная, в качестве которой может выступать время или число попыток заучивания  $n$ . Решение уравнения (13.2) имеет вид

$$z = \lambda - (\lambda - z_0)\exp(-\mu x).$$

Это решение соответствует двум законам динамики прочности следа А. Йоста: 1) из двух ассоциаций равной прочности, но разного возраста, более старая забывается медленнее; 2) приращение прочности следа, вызванное новым заучиванием, обратно пропорционально исходной прочности следа. Оба эти закона нашли широкое применение в когнитивной психологии и исследованиях научения. Возвращаясь к обучению оператора, отмечаем, что обычно выход на стационарный уровень по быстрдействию осуществляется быстрее, чем по безошибочности, поэтому удобно рассмотреть в первую очередь планирование тренировок для обеспечения безошибочности.

Установилось мнение, что уменьшение частоты ошибок в процессе обучения достаточно хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией

$$q_0 = q_c + (q - q_c)e^{-\alpha\tau}, \quad (13.3)$$

где  $q_0$ ,  $q_c$  — начальное и стационарное значения частоты ошибок;

$\alpha$  — относительная скорость приобретения навыков безошибочной работы (коэффициент обучения);

$\tau$  — длительность обучения.

Аналогично процесс забывания, утраты навыков аппроксимируется выражением

$$q(t) = q_c + (q_0 - q_c)(1 - e^{-\beta t}), \quad (13.4)$$

где  $\beta$  — относительная скорость утраты навыков (коэффициент утраты навыков);

$t$  — время после использования навыка.

Как правило, приобретение навыков происходит быстрее, чем их забывание.

В экспоненциальных зависимостях (13.1), (13.2) очень часто  $\alpha\tau \ll 1$ ,  $\beta t \ll 1$ . Поэтому экспоненты в (13.3) и (13.4) можно разложить в ряды, сохранив лишь линейные члены и отбросив остальные.

При этом получим уравнения:

$$q = q_0 - (q_0 - q_c)\alpha\tau;$$

$$q = q_c + (q_0 - q_c)\beta t. \quad (13.5)$$

Учитывая процессы приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы можно изобразить на одном графике (рис. 13.1). Интервалы  $\Delta\tau_1$ ,  $\Delta\tau_2$ ,  $\Delta\tau_3$ ,... соответствуют процессам приобретения навыков, а интервалы  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_3$  — процессам утраты навыков безошибочной работы.

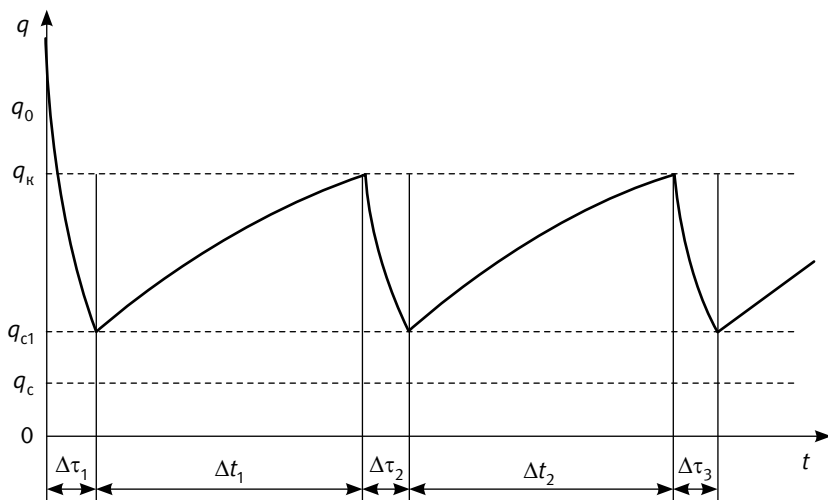


Рис. 13.1. Графическое изображение процессов приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы

На графике, представленном на рис. 13.1, учтено, что в конце каждой тренировки удастся снизить частоту ошибок до значения  $q_{c1}$ , которое не всегда совпадает с  $q_c$ , обычно  $q_{c1} > q_c$ . Очередную тренировку назначают, когда частота ошибок достигает критического значения  $q_K$ .

Вначале рассмотрим идеализированную модель, предположив, что динамика приобретения, утраты и восстановления навыков безошибочной работы сохраняется неизменной. При этом для установившегося процесса функционирования можно вычислить среднюю по процессу относительную частоту ошибок. Для линейной модели:

$$\bar{q} = \frac{\Delta t}{2}(q_K + q_{c1}). \quad (13.6)$$

Зная значения  $\beta$ ,  $q_{c1}$ ,  $q_K$ , можно из уравнения (13.5) или (13.6) найти допустимую продолжительность перерыва между тренировками.

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{q_K + q_{c1}}{\beta(q_0 - q_{c1})} \quad (13.7)$$

Возможны задачи, в которых известны не  $q_K$ , а ограничения на  $q$ , например предельное значение  $q_{\text{пред}}$ . При этом из (13.7) можно найти и подставить в (13.8).

$$q_K = \frac{2q_{\text{пред}}}{\Delta t} - q_{c1} \quad (13.8)$$

Рассмотренную идеализированную модель можно рассматривать как первое приближение. В ней не учитывается, что с течением времени, т. е. с каждым последующим циклом тренировки, облегчается приобретение навыков, а их забывание затрудняется. Поэтому формулы (13.1)–(13.8) очень приближенно отображают действительность, обычно

$$\Delta\tau_i + 1 < \Delta\tau_i; \Delta t_i + 1 > \Delta t_i.$$

Для транспортных систем на основании периодичности рейсов может быть заранее задана или определена периодичность тренировок и известна скорость восстановления навыка  $\alpha$ , тогда можно получить

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{q_K + q_{c1}}{\alpha(q_0 - q_{c1})}. \quad (13.9)$$

Чтобы учесть эффект замедления утраты навыков, введем допущение о постоянстве относительной скорости забывания, т. е. о том, что в каждом очередном производственном цикле относительное замедление роста частоты ошибок постоянно:

При этом значение коэффициента утраты навыков

$$\beta = \beta_1 e^{-\chi n}, \quad (13.10)$$

где  $\beta_1$  — максимальное значение коэффициента утраты навыков (в первом цикле);

$n$  — накопленная сумма циклов;

$\chi$  — «постоянная обучения», характеризующая закрепление навыков. При  $\chi^n \ll 1$ , то есть менее 0,1, можно считать  $\beta = \beta_1 (1 - \chi n)$ .

Подставив  $\beta$ , можно определить допустимую продолжительность  $\Delta t_{\text{доп}}$  перерыва между тренировками, соответствующую накопленному числу суммы циклов  $n$

$$\Delta t_{\text{доп}}(n) = \frac{q_K + q_{c1}}{(q_0 - q_{c1})\beta_1} e^{\chi n}. \quad (13.11)$$

### Психолого-педагогические принципы тренажеростроения

Развитие современного общества предъявляет все более высокие требования к процессу подготовки и постоянному повышению квалификации специалистов. На первое место выходят как проблемы доучебного тестирования

и отсева кандидатов (профотбор), так и всемерное совершенствование подготовки приемлемой эффективности. Тренажерные технологии сегодня — это сложные комплексы, системы моделирования и симуляции, системы визуализации, компьютерные программы и физические модели, специальные методики, создаваемые для того, чтобы подготовить человека к принятию качественных и быстрых решений, что станет весьма серьезной задачей и даже проблемой в XXI веке.

В современных тренажерах и в программах подготовки и обучения, основанных на них, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой, то есть тренажер способен развиваться вместе с человеком, который на нем обучается. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением компьютерной техники и прогрессом в области создания технологий виртуальной реальности, машинного зрения, систем искусственного интеллекта и т. п. На базе этих технологий разработаны многочисленные тренажеры для военного применения, позволяющие имитировать боевые действия с высочайшей детальностью в реальном времени, создано множество приложений технологии виртуальной реальности для медицины, позволяющих проводить операции электронному пациенту с высокой степенью достоверности.

По мнению компании Haskett consulting inc. (HCI), и это согласуется с данными экспериментальной психологии: «люди запоминают 20 % того, что они видят, 40 % того, что они видят и слышат, и 70 % того, что они видят, слышат и делают». Понятно, что необходимым элементом эффективного обучения являются постоянные тренировки. По мере развития и удешевления тренажерные технологии начинают проникать и в другие отрасли народного хозяйства: авто- и судовождение, школьное и вузовское обучение и пр. Тренажерные и симуляционные технологии к настоящему времени сформировались в успешно развивающуюся отрасль мировой индустрии.

Тренажеры в водительских профессиях применяются достаточно продолжительное время и, учитывая игровые попытки их использования для получения и расширения навыков, дали положительные результаты. В работе О. А. Конопкина и Л. С. Нерсисяна [7] отмечалось, что применение тренажеров фирм Generul Presision Sistem (Великобритания) и Brown Boveri Co (Швейцария) позволило значительно (до 50 %) сократить продолжительность практического обучения машинистов электровозов.

Анализ современных существующих зарубежных и отечественных разработок позволяет сделать вывод о следующих конструктивных особенностях тренажеров для подготовки железнодорожных машинистов (ТМ).

Значительное внимание уделяется созданию видеоподсистем в тренажере Eurostar французской фирмы EBIM. Этот тренажер был разработан в 1991 году по заказу консорциума по использованию туннеля под Ла-Маншем. Тренажер имеет модульную архитектуру, включающую в том числе и видеоподсистему. Угол обзора машиниста составляет  $40^\circ$ , визуализация движения осуществляется посредством генерации трехмерного изображения с частотой 25 кадров в секунду. Видеоподсистема контролируется специализированным вычислительным комплексом. Тренажер локомотива EWS class 66 разработан в 2002 году. Тренажер состоит из макета локомотива class 66, включая элементы управления и контроля реального локомотива, базы данных, содержащей информацию о техническом устройстве участка протяженностью 80 км. Угол обзора машиниста составляет  $40^\circ$ . Имеется возможность визуализации обстановки (наличие дорожных рабочих и т. д.).

Тренажерный центр Virgin фирмы Corys разработан в 2001 году. Тренажер состоит из 3 макетов скоростных локомотивов Voyager/Pendolino class 390, включает элементы управления и контроля реального локомотива, базу данных, содержащую информацию о техническом устройстве участка протяженностью 60 км. Угол обзора машиниста составляет  $50^\circ$ .

Тренажеры фирмы Dornier GmbH (Германия), больше известной в России своей авиационной техникой, по своим характеристикам схожи с упомянутыми выше. В них можно отметить видеоподсистему с углом обзора машиниста  $90^\circ$  по горизонтали. Особый интерес для инженерной психологии и педагогики представляет то обстоятельство, что в рамках английской программы по изучению безопасности на железнодорожном транспорте (Railway Safety Research Programme) разрабатываются спецификации на симуляторы для изучения влияния человеческого фактора и программа соответствующих исследований.

В числе других требований к тренажерам выдвигается наличие высококачественных видео- и аудиовозможностей. В отечественных ТМ в некоторых разработках для визуализации используется трехмерная графика. В частности, такой подход опробован при создании тренажера машиниста в рамках создания ЛТК «ВЖД» разработки Ростовского государственного университета путей сообщения. К недостаткам трехмерного моделирования следует отнести необходимость разработки трехмерной сцены на компьютере, что предполагает квалифицированную программистскую и дизайнерскую работу. Кроме того, адекватное воссоздание участка значительной протяженности сопряжено со значительным расходом материальных, людских и прочих ресурсов. Существуют и принципиальные ограничения: машинист может ориентироваться по каким-либо малозначимым элементам ландшафта и осуществлять

проверку к местности по деталям, которые не входят в состав трехмерной системы. К достоинствам трехмерного моделирования можно отнести возможность реконструкции внештатных и аварийных ситуаций. Также имеется возможность провести создание модели конструирования станции либо нового участка пути.

Альтернативой созданию трехмерных сцен является использование видеозаписи. В тренажере ТМ фирмы «Спектр» и ТМ в рамках создания ЛТК «ВЖД» этот подход является основным. Достоинствами этого подхода являются его относительная дешевизна, точность изображения деталей. К недостаткам — невозможность воспроизводить различные аварийные и экстренные ситуации, движение по боковым путям.

Кроме того, значительных трудозатрат требует специальная разметка видеотеки по байт-коду для его связи с поездной обстановкой, сгенерированной в имитирующей системе тренажера.

## 13.2. Психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки диспетчерского состава

В современной сверхбольшой эргатической системе (СБЭС), каковой является железнодорожный или авиационный транспорт, имеется огромное количество составляющих ее систем и подсистем. СБЭС характеризуется сложной структурой, колоссальными потоками информации, высоким уровнем автоматизации. Чтобы эффективно и надежно функционировала СБЭС, в ее управлении задействованы большие коллективы специалистов, прежде всего диспетчеров-управленцев. Поэтому для полноценного обучения и тренировки диспетчеров необходимо создавать тренажерные комплексы, которые бы позволили имитировать именно реальную групповую деятельность.

Основными формами взаимодействия диспетчерского состава железнодорожного транспорта являются: взаимодействие при решении мыслительных задач, психомоторное взаимодействие (осуществление совместных управленческих действий), коммуникативное взаимодействие.

При построении тренажерного комплекса для подготовки и аттестации диспетчерского состава железнодорожного транспорта необходимо, прежде всего, учитывать организацию деловых взаимоотношений в группе диспетчеров при управлении реальным перевозочным процессом, распределением функций специалистов в группе, организацией взаимосвязи между ними.



Обучение ДСП/ДНЦ проводится на базе тренировочного центра, который представляет комплекс программно-аппаратных средств и моделей, имитирующих работу систем, связанных с управлением движением поездов и обеспечением безопасности движения. Именно такой комплекс эксплуатируется в Дальневосточном госуниверситете путей сообщения. Условия работы таких центров требуют применения технологий сетевого и межсетевого взаимодействия, обеспечения высокой степени реалистичности моделируемых процессов, адаптивности, информационной оснащенности. В таких центрах должны соблюдаться эргономические требования: дружелюбный интерфейс, надежность и восстанавливаемость. Пользователь-оператор должен испытывать простоту общения с тренажером вне зависимости от того, насколько сложна сама система.

В зависимости от целей и содержания тренажерные комплексы для обучения диспетчерского состава подразделяются на специализированные и комплексные. В тренажерах этого типа должно быть обеспечено максимальное соответствие смыслового содержания поступающих к оператору сигналов реальным процессам и событиям. Специализированные (канальные) тренажеры используются, как правило, на первоначальном этапе подготовки, связанном с ситуационными тренировками освоения управления технологическими процессами в нормальных и аварийных режимах. Примером такого тренажера является компьютерная модель станции и аппарата управления ДСП. Комплексный тренажер отличается наличием полномасштабной имитационной системы, охватывающей все подсистемы объектов, входящих в информационный и функциональный набор в объекте, определенном в его структуре. Тренажер этого типа используются на втором этапе тренировочного процесса, когда необходимо сформировать умение и навыки целостной профессиональной деятельности.

### 13.3. Психологические принципы применения тренажеров

*Психологическое обоснование применения обучающих тренажеров* обеспечивается теорией переноса навыков. Навыки оператора, сформированные в процессе обучения, существуют не изолированно друг от друга. Они неизбежно вступают во взаимодействие. При этом «старые» навыки в одних случаях способствуют овладению «новыми» (положительный перенос навыков), в других тормозят их образование (интерференция навыков). Учет взаимодействия навыков особенно важен тогда, когда оператор, овладевший одним видом техники, начинает овладевать другим.

В условиях технического прогресса идет постоянное совершенствование техники, что требует также постоянного доучивания и переучивания оператора. При их организации важно заранее точно определить, какое влияние сформировавшиеся навыки могут оказать на те, которые предстоит формировать. Для этого необходимо знать основные условия взаимодействия навыков, то есть их перенос и интерференцию.

Основным условием переноса навыков является во многих случаях сходство или даже тождество выполняемых рабочих движений; перенос особенно успешно происходит в том случае, если человек ясно понимает и может обобщить черты сходства нового и старого навыков. Другое условие переноса состоит в том, что любой навык, которым овладевает человек, оказывает общее влияние на его психику. Успешное обучение одному навыку создает уверенность в своих силах, повышает интерес к работе. Однако взаимодействие навыков включает не только перенос, но и интерференцию (отрицательную цену) или нулевой эффект (отсутствие переноса). Одна из причин ее — так называемое ассоциативное торможение.

Идея интерференции состоит в том, что информация — старая или новая — каким-то образом затрудняет воспроизведение другой информации, хранящейся в долговременной памяти (ДВП) человека. ДВП состоит, как это показано в современной когнитивной психологии, из сложных ассоциативных структур, ассимилирующих огромное количество новой информации, и в этой способности, как считает Р. Солсо, заключен парадокс: новая информация, легко приспосабливаемая к хорошо организованным когнитивным структурам, может затемнять информацию, вплетенную в эти структуры ранее. Практическую значимость учета интерференции можно проиллюстрировать тем, что именно она стала причиной авиационной катастрофы 7 сентября 2011 года под Ярославлем с самолетом Як-42.

В психологии изучены условия преодоления интерференции. К ним относятся: 1) прочность «старого» навыка: чем прочнее он усвоен, тем быстрее преодолевается его отрицательное влияние на новый; это объясняется тем, что движения, входящие в прочный навык, очень хорошо специализированы; 2) сознательное усвоение нового навыка: чем точнее человек проанализирует особенности движений, характерных для нового навыка, тем быстрее он преодолевает отрицательное влияние «старого», перестроит его.

Работа на тренажерах преследует цель — формирование у обучаемых соответствующих навыков и умений. Но для того чтобы после подготовки на тренажере произошел положительный перенос навыка на практическую деятельность, необходимо соблюдение ряда требований, при которых тренажер может

дать необходимый эффект: образование из отдельных разрозненных движений (или других трудовых актов) двигательных или умственных структур; выявление человеком сигналов, релевантных к определенной деятельности; изменение соотношения уровней регуляции, за счет чего изменяется уровень сознательного контроля: сознанием контролируется не каждый элемент действия, а все действие в целом; усвоение ритма выполняемых действий, что позволяет осуществлять оператору работу длительное время без утомления.

Говоря о процессе переноса, следует отметить: утверждение о том, что основным условием переноса навыков является сходство или даже тождество выполняемых рабочих движений, совсем не обязательно означает ухудшение результатов выполнения задания или положительный перенос навыков.

Взаимодействие между первой и второй задачей может быть значительно сложнее. Эффективность применения тренажеров существенным образом может быть повышена, если при их построении будут учтены следующие психофизиологические и психолого-педагогические принципы процесса обучения:

- навыки, развиваемые на тренажере, по своей структуре должны соответствовать навыкам реальной трудовой деятельности;
- тренажер не должен формировать тех навыков, которые дают отрицательный эффект при переводе в реальные условия деятельности;
- информационная модель, создаваемая на тренажере, должна быть достаточно пластичной и обеспечивать задание необходимого количества для последующей практической деятельности логических задач;
- в тренажере должна быть обеспечена имитация отказов и неисправностей, которые могут произойти в системе «человек-машина»;
- в тренажере следует предусмотреть возможность регистрации всех действий оператора с точки зрения их безошибочности и своевременности.

Кроме этих общепсихологических требований для полноценного обучения машинистов электровозов, как и других операторов транспортной отрасли, необходимо выдержать и ряд специфических требований:

1. Навыки, развиваемые на тренажере, должны по своей структуре соответствовать навыкам вождения. В тренажере главное – функциональная близость деятельности. Стремление во что бы то ни стало приблизить внешний вид тренажера к реальной технической системе может оказаться совершенно бесполезным, если дело ограничивается лишь чисто внешним подобием.

2. Тренажер должен предусматривать возможность введения независимых, меняющихся по величине отклонений режимов и параметров системы для устранения их учащимися. Самая сложная кабина локомотива или самолета, оснащенная работающими контрольными приборами, оказывается малополезной

для тренировки до тех пор, пока не будет создана возможность вводить в показания этих приборов неожиданные отклонения, которые тренирующийся должен вовремя замечать и соответствующим образом на них реагировать.

3. Тренажер должен обеспечивать человеку возможность воспринимать результаты своих действий. Это требование основано на известном в психологии факте, что навык может полноценно развиваться только тогда, когда обучающийся видит результаты своих действий и оценивает характер и величину совершаемой ошибки. Поэтому необходимо, чтобы тренажер имел объективную регистрацию результатов деятельности учащегося в процессе тренировки. Такая регистрация необходима для количественной оценки хода развития тех или иных компонентов водительского навыка.

4. В тренажере необходимо обеспечить контроль состояния оператора, чтобы учитывать, с какой психологической напряженностью производится оператором его деятельность по управлению транспортным средством.

5. Методика работы на тренажере должна предусматривать достаточное количество практических упражнений. Без этого даже самый совершенный тренажер превратится в наглядное пособие: он будет способствовать пониманию и запоминанию чего-либо, но не сможет сформировать и усовершенствовать водительский навык.

6. В тренажере необходимо предусмотреть возможность режимов автоматического, полуавтоматического и ручного управления. Это положение приобретает особое значение в условиях совместного управления объектом человеком и автоматическим устройством, что наблюдается сейчас в связи с автоведением и автодиспетчированием на железнодорожном транспорте. Здесь мы сталкиваемся с серьезной психологической проблемой, связанной с тем, что при выполнении автоматических режимов управления в стационарных нормативных условиях оператор (машинист, диспетчер) находится в состоянии пассивного участия. Такое положение в случае большой длительности автоматического режима осложняет последующий период к полуавтоматическому или ручному управлению. Естественно, при управлении железнодорожным транспортом невозможно искусственно вводить нерасчетные ситуации. В определенной степени и для нормативных условий искусственный ввод полуавтоматических или ручных режимов управления не всегда целесообразен.

Но эти режимы необходимо предусматривать при проектировании тренажеров, так как непосредственное участие оператора позволит ему не терять активность и связанные с ней бдительность, готовность к экстренным действиям.

В этой связи рассмотрим некоторые вопросы количественной оценки выбора оптимальной частоты подачи искусственных сигналов при отсутствии

реальных оперативных задач. Одно из важнейших проявлений уровня природной активированности нервной системы оператора — способность поддерживать готовность к экстренному включению в управление при длительном отсутствии значимых сигналов. Скорость снижения показателя готовности индивидуальна, поэтому подбор частоты контроля готовности и предъявление искусственных аварийных сигналов в целях ее повышения должны осуществляться по принципам индивидуальной и индивидуально-оперативной адаптации. В тех случаях, когда оператор страхует автомат на случай его отказа, надежность системы управления условно может быть представлена в виде суммы надежности автомата и готовности человека к включению в активное управление. Очевидно, что так может рассматриваться надежность системы только в отношении тех функций автоматики, которые способен на достаточном уровне выполнять человек. К таковым случаям, естественно, относятся важнейшие для транспортных систем и для железнодорожного транспорта особенно оперативные задачи по вождению поездов и диспетчерскому управлению на участке, т. е. там, где реально присутствует взаимное резервирование оператора и автоматики в процессе управления. При этом мы не касаемся случаев принятия решений в сложной обстановке, являющихся в настоящее время исключительной прерогативой человека. Теперь, когда нами выделены функции, посильные и для человека, и для автомата, то условно отождествим понятия его надежности и готовности.

Рассмотрим изменение надежности системы человек-автомат на графике (рис. 13.2), качественно отражающем результаты наблюдений большого числа авторов. Пусть надежность автомата описывается кривой  $Q_a$ . В момент  $t_1$  автомат отказал. При отсутствии в системе человека-оператора надежность системы в интервал времени  $t_1 - t_2$  обратилась бы в нуль до восстановления автомата. Однако при отказе автоматических устройств оператор принимает управление на себя и для интервалов  $t_1 - t_2$  и  $t_3 - t_4$   $Q_{\text{сч*а}} = Q_{\text{ч}}$ . Величина  $Q_{\text{ч}}$  в моменты  $t_1, t_3, t_8$  определяет вероятность продолжения функционирования системы управления при отказах автомата. Величина  $Q_{\text{ч}}$  обратна субъективной априорной вероятности отказа автомата в текущий интервал.

В начале работы новой системы, когда сбой автомата заведомо вероятен, надежность человека, его готовность быстро включиться в управление высока (точка а"). Если в течение достаточно длительного времени сбоев нет (нет сигналов о нарушениях режимов, отсутствуют оперативные задачи),  $Q_{\text{ч}}$  несколько снижается (точка б"). Сразу после ликвидации нарушений (после интервала  $t_1 - t_2$ )  $Q_{\text{ч}}$  высока и примерно соответствует начальному уровню. Если интервал  $t_2 - t_3$  достаточно велик, то в момент  $t_3$   $Q_{\text{ч}}$  опять будет слишком низка,

вследствие чего и  $Q_{сч*а}$  в момент сбоя автомата может оказаться недостаточной. Анализ динамики готовности операторов при длительном отсутствии оперативных задач указывает на необходимость имитации таких задач путем преднамеренных, неожиданных для оператора отключений автоматики, имитации с помощью тренажерной системы аварийных ситуаций. Решение таких задач помогает не только повышать, но и периодически контролировать готовность оператора. Возвращаясь к рис. 13.2, отметим, что тренировки в моменты  $t_5$ ,  $t_6$ ,  $t_7$  позволяют поддерживать  $Q_{сч*а}$  на высоком уровне, несмотря на понижение  $Q$  в конечный период срабатывания технического ресурса.

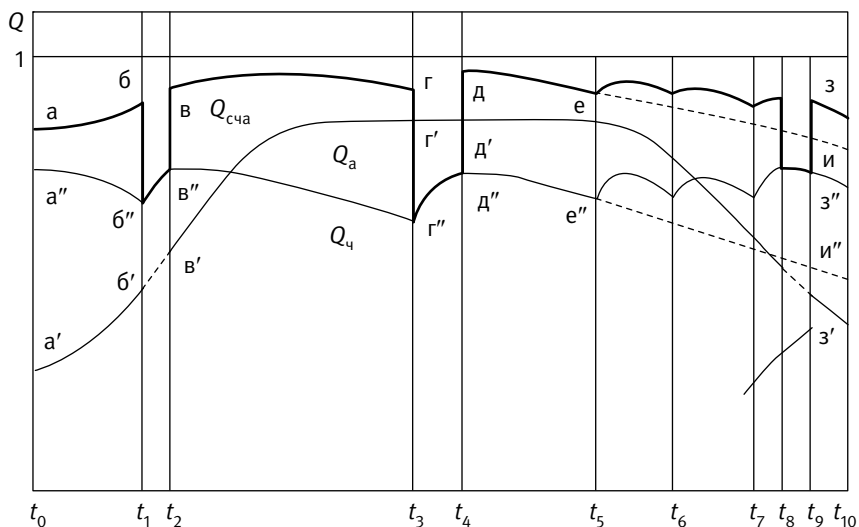


Рис. 13.2. Динамика надежности системы человек-автомат

Дальнейшее изложение мы будем проводить, ориентируясь на работу В. Ф. Венда, при этом следует помнить, что моделирование искусственных ситуаций аварийных ситуаций в случае транспортных систем производится в условиях тренажерной подготовки.

Для выбора оптимальной частоты создания искусственных ситуаций при отсутствии реальных оперативных задач рассмотрим влияние длительности перерывов между контрольными испытаниями на надежность системы оперативного управления в отношении контролируемых функций. Плотность вероятности отказа оператора при возникновении аварийной ситуации  $A$  обозначим через  $\varphi_0(z)$ , а плотность вероятности возникновения  $A$  с момента включения оператора в систему — через  $\xi(q)$ . Тогда плотность вероятности аварий на объекте  $m_1(t)$ , очевидно, можно представить как свертку двух предыдущих функций:

$$m_1(t) = \int_0^t \xi(t-z) \varphi_0(z) dz.$$

Для простоты примем поток аварийных возмущений на объекте (под объектом следует понимать как состояние транспортного средства, например электровоза, так и состояние определенной транспортной подсистемы, например находящейся под диспетчерским управлением) простейшего типа с параметром  $\mu$ . Тогда:

$$\xi(q) = \mu \exp(-\mu q).$$

В изображениях по Лапласу

$$m_1^*(p) = \xi^*(p) \varphi_0^*(p),$$

или

$$m_1^*(p) = \frac{\mu \lambda}{(p + \mu)(p + \lambda)},$$

где  $\lambda$  — параметр потока отказов человека-оператора. На основании интегрального уравнения восстановления получим

$$\mu_1^*(p) = \frac{m^*(p)}{1 - m^*(p)},$$

где  $\mu_1^*(p)$  — изображение по Лапласу параметра потока аварий  $\mu(r)$  для постоянного интервала между контрольными испытаниями  $(0, N)$ .

Термин «восстановление» применительно к человеку-оператору в данном случае используется для обозначения эффекта от возникновения некоторой аварии на объекте (пусть даже искусственной — имитированной тренажерной системой), состоящего в повышении бдительности оператора, уяснении им путей предупреждения и ликвидации подобных аварий, в целом — в определенном возрастании надежности человека-оператора. Такое изменение является средством активности человека в процессе уяснения и решения возникшей перед ним оперативной задачи. Таким образом, целью контрольных (тренировочных) аварий будем считать восстановление человека-оператора.

Следовательно, в момент  $N$  система оперативного управления по показателю надежности (готовности) оператора приходит в состояние, эквивалентное исходному. Надежность системы в целом определяется, естественно, еще и надежностью ее машинного звена и, таким образом, может отличаться от исходной даже при восстановлении готовности человека-оператора (см. рис. 13.2).

Примем, что поток испытаний на произвольном интервале  $(0, t)$  представляет собой периодическую функцию

$$\mu_2(t) = \mu_1(t - yN),$$

где  $y = [t/N]^2$  — целая часть частного  $t/N$ .

В изображении по Лапласу

$$\mu_2^*(p) = \frac{1}{1 - e^{-2p}} \int_0^N e^{-\tau p} \mu_1(\tau) d\tau.$$

Из формулы получим выражение для плотности вероятности первой аварии

$$m_1^*(p) = \frac{\mu_1^*(p)}{1 + \mu_1^*(p)}.$$

Начальные моменты порядка безаварийной работы находятся по известной формуле

$$d_n = (-1^n) \lim \frac{d^n m_1^*(p)}{dp^n}.$$

На основании выражений рассчитывается среднее время  $T$  и дисперсия времени безаварийной работы

$$\bar{T} = \frac{N}{\int_0^N \mu(\tau) d\tau};$$

$$\bar{\sigma}^2 = \bar{T}^2 \left\{ 1 - \frac{z}{N} \int_0^N \tau \mu_1(\tau) d\tau \right\} + TN.$$

Из выражений получим развернутое изображение по Лапласу

$$\mu_1^*(p) = \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda) \left[ 1 - \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda)} \right]} = \frac{\mu\lambda}{(p+\mu)(p+\lambda) - \mu\lambda}.$$

Из выражения видно, что знаменатель имеет один нулевой корень, а второй лежит в левой полуплоскости комплексного переменного. Для любого простого корня



$$\bar{T} = \frac{N(\lambda + \mu)}{\mu\lambda \left[ N + \frac{Q'(p)}{pQ(1-p)}(1 - e^{-pN}) \right]}$$

или приближенно в более удобном для использования и анализа виде при малых  $N$  можно принять  $\bar{\sigma}^2 \approx \bar{T}^2$ .

Теперь допустим, что необходимо прогнозировать готовность человека-оператора включаться в работу при сбое автомата в течение интервала  $N = t_{n+1} - t_n$ . Пусть вероятность успешного включения оператора в работу  $Q_q$ ; соответственно вероятность отказа оператора  $p_q = 1 - Q_q$ .

Допустим, что известна плотность распределения отказов оператора  $r_q$ . Очевидно, что

$$p_q = \frac{\int_{t_n}^{t_{n+1}} r_q(t) dt}{\int_{t_n}^{\infty} r_q(t) dt} = \frac{\int_T^{T+N} r_q(t) dt}{\int_T^{\infty} r_q(t) dt}.$$

Распределение отказов

$$R(t) = \int_{-\infty}^T r_q(t) dt,$$

а с учетом  $r_q(t) = 0$  при  $t < 0$

$$R(t) = \int_0^T r_q(t) dt.$$

Отсюда

$$R_q = \frac{R(t_{n+1}) - R(t_n)}{1 - R(t_n)} = \frac{R(T + N) - R(T)}{1 - R(T)};$$

$$Q_q = \frac{1 - R(T + N)}{1 - R(T)};$$

$$R(T + N) = 1 - Q_q + Q_q R(t);$$

$$R(T + N) = R_q [(1 - p_q) R(t)].$$

Функция распределения отказов оператора на интервале  $N$

$$F(p_q T) = p_q + [(1 - p_q) R(t)].$$

Сопоставляя приведенные выше выражения, видим, что уменьшая интервалы между тренировочными аварийными испытаниями, мы повышаем надежность оперативного управления, увеличиваем среднее время безаварийной работы системы. В то же время соответственно увеличивается дисперсия времени безаварийной работы, т. е. разброс отдельных значений времени безаварийной работы относительно его среднего значения  $T$ . Кроме того, тренировочные испытания могут стать помехой основной деятельности оператора, что нежелательно даже при тренажерной подготовке.

Подобным образом можно найти верхнюю границу частоты создания активирующих ситуаций для каждого оператора. Причем целесообразно предусмотреть несколько вариантов контроля готовности: 1) оператор самостоятельно может включить программу создания таких ситуаций; 2) такую программу включает специальная подсистема.

7. Наконец, должна присутствовать развитая адаптивная система обучения оператора, которая бы позволила оптимизировать процесс формирования навыков и умений.

Реализация вышеперечисленных требований не всегда в полном объеме находит отражение в создании тренажных комплексов, моделирующих деятельность оператора в АСУ. Блок-схема одного из первых универсальных многоцелевых тренажно-моделирующих комплексов, отвечающего как инженерно-психологическим, так и дидактическим требованиям, приводится в работе В. М. Ахутина. Она включает системы моделирования внешней обстановки; моделирования динамики управляемого объекта; анализа операторской деятельности; анализа психофизиологического состояния оператора; оценки «стоимости» результата для исполнителя; реализации различных режимов работы. Система оценки стоимости результата включает специальный канал индикации для обучаемого, что дает ему возможность самоконтроля в тренировочных условиях. Подобный тренажно-моделирующий комплекс позволяет проводить процесс тренировки операторов в соответствии с требованиями программированного обучения, в частности, используя последовательный ступенчатый метод подготовки.

Однако, как мы отмечали выше, представляется целесообразным, чтобы программное обеспечение тренажно-моделирующих транспортных комплексов и методики подготовки обеспечивали освоение моделируемых на тренажерах действий не только в штатных, но и в аварийных ситуациях, возникающих при отказах техники.

Кроме того, как справедливо отмечают В. А. Бодров и В. Я. Орлов [8], необходимо предусмотреть развитие качеств, обеспечивающих решение нестан-

дартных проблемных ситуаций и лежащих в основе сенсорно-перцептивного, интеллектуального, психомоторного регулирования, управления действиями и их структурами, характерных для определенной совокупности операторских задач.

### 13.4. Интеллектуальный тренажер с имитационной моделью

В основе интерактивной тренажерной системы лежит имитационная модель, которая призвана работать как в автоматическом, так и в ручном режиме. Интеллектуальный тренажер представляет собой *активную компьютерную модель* некоторой станции с визуальным отображением ее состояния, *набором решений* по организации поездной, маневровой и грузовой работы и *аппаратом их реализации*.

Имитационная модель должна подробно отображать структуру и технологию станции, а также диспетчерское управление и случайные процессы. Опыт моделирования показывает, что описание всех технологических операций, со всеми вариантами их выполнения и с записью всех участвующих структурных элементов с параметрами использования представляет собой массив в несколько сотен тысяч строк. Его практически нельзя построить вручную из-за слишком большой трудоемкости и большой вероятности ошибок. Поэтому имитационная система должна включать в себя подсистему автоматизированного построения, а также должна иметь подсистему интеллектуальной обработки результатов. Это нужно для всесторонней оценки деятельности диспетчера в интерактивном режиме на тренажере. Для построения моделей тренажера рекомендуется имитационная система **ИСТРА**, которая имеет подсистему автоматизированного построения и является наиболее развитой среди отечественных имитационных систем. Схема путевого развития представляется в виде элементов модели, при этом автоматически объединяются в группы стрелки, которые занимаются одновременно во всех передвижениях.

Студент-диспетчер получает ту же информацию о состоянии станции и происходящих на ней процессах, что и диспетчер в реальности, имеет возможность принимать аналогичные решения, а модель их реализует.

В процессе имитации работы диспетчера модель осуществляет активное обучение (рекомендует наилучшее решение при выборе очередности выполнения технологических операций, выборе лучшего маршрута передвижения и т. п., а также информирует о невозможности выполнения неверного реше-

ния и причинах этого). Студент легко запоминает *функциональную схему* станции, так как видит на экранной схеме путевого развития возможные маршруты при выполнении операций.

После сеанса работы модель выдает исчерпывающую информацию о результатах работы моделируемой станции и о качестве принимаемых решений. Анализ показывает, что деятельность диспетчера ближе всего к ситуационному управлению. На основании большого опыта он имеет в памяти набор расчетных ситуаций и к каждой из них — одно или несколько рациональных решений.

Визуальное отображение состояния путей в парках станции весьма важно. Ибо при приобретении определенного опыта диспетчеру будет достаточно беглого взгляда для оценки состояния парка — насколько он заполнен, сколько есть свободных путей, какие и где находятся локомотивы. Даже цветовая гамма имеет важное значение. В модели реализованы разные формы представления на экране активной схемы путевого развития, то есть сложившуюся ситуацию и протекание процессов — оперативную очередь, протоколы выполнения операций, текущее состояние графика исполненной работы и графика работы локомотивов. На схеме технологического процесса студент может увидеть логическую последовательность операций и параметры выполнения каждой операции: продолжительность, приоритет, маршруты и дополнительные сведения. Он может смещать точку текущего времени и увидеть состояние станции, например до выполнения некоторой работы и после ее завершения.

Для реализации диалогового режима диспетчер должен иметь возможность подать локомотив в любую точку, поставить на выполнение любую возможную операцию из очереди, то есть тренажер должен обеспечить *полную управляемость* системы. Модель должна показать возможные маршруты выполнения и при одобрении диспетчера смоделировать ее выполнение.

### 13.5. Адаптивные тренажеры

Сравнительно новым, перспективным направлением в области технических средств обучения операторов является создание адаптивных и игровых тренажеров. Отметим, что в последнее время проявляется интерес к построению адаптивных тренажеров [1, 9]. В адаптивном тренажере обеспечивается автоматическое изменение алгоритма обучения в зависимости от успехов обучаемого; стратегия обучения выбирается с учетом его индивидуальных способностей. В таком тренажере накапливаются данные об уровне подготовки оператора и выбирается такой способ представления нормальных или ава-

рийных ситуаций, при котором обеспечивается максимальное их усвоение. При выборе переменных программ работы тренажера учитываются не только текущие действия оператора, но и вся «предыстория» его обучения и тренировок. Варианты построения адаптивных тренажеров для подготовки операторов в авиации и атомной энергетике впервые были рассмотрены в работах [5, 6]. Однако построение адаптивных тренажеров для подготовки операторов железнодорожного и других видов транспорта требует проведения специальных исследований. Здесь мы осветим некоторые **принципы**, которыми следует руководствоваться при разработке транспортных адаптивных тренажеров.

Адаптивные системы позволяют учитывать индивидуальные особенности операторов, уровень развития и особенности обучения в течение всего учебного процесса. Эти системы обучения предполагают возможность управления усвоением не только по конечным достигаемым результатам, но и по заранее выделенным параметрам процесса, определяющим его условия. При подготовке различных специалистов железнодорожного, авиационного или автомобильного транспорта — диспетчеров, дежурных по станции, водителей, пилотов, машинистов электропоездов — требования к адаптивным обучающим системам будут различными.

Г. Паск [4], характеризуя специфику адаптивных обучающих систем, отмечал, что их основная задача в отличие от других типов машин заключается в том, чтобы стабилизировать систему «человек-машина» и использовать специально подготовленную программу или структурную схему с целью направленного изменения поведения человека. Машина в этом случае выступает в качестве специального механизма управления. Существенным, на наш взгляд, является то обстоятельство, что при описании человека в его взаимодействии с машиной, человек не должен рассматриваться как некий «черный ящик», что было характерно для бихевиористского или для упрощенного кибернетического подходов. Он должен рассматриваться не только и не столько сенсорными входами (зрение, слух, осязание), но и другими важными когнитивными структурами, прежде всего вниманием, выделяющим объекты познавательной деятельности. Соответственно и ответ в большинстве случаев не может быть описан только в виде некоторых реакций, а предполагает использование определенной системы знаков, с помощью которых описывается и интерпретируется ситуация и осуществляется общение между человеком и обучающей машиной.

Однако не только ограничения языкового характера или недостаток прочных знаний мешает продуктивному взаимодействию человека и компьютерной обучающей системы. На пути внедрения транспортных адаптивных обучающих систем возникает ряд трудностей.

Во-первых, трудности чисто технического плана: трудности общения с вычислительной машиной с точки зрения разработчика и программиста во время проектирования и реализации системы.

Во-вторых — это трудность общения между реализованной системой и ее пользователем — обучаемым или учителем (в зависимости от того, какую роль человек играет во взаимодействии с машиной).

В-третьих, и это, пожалуй, самое главное, для многих практически важных задач принципиально значимым является понимание того, как человек решает задачу. Исследователи в области искусственного интеллекта (ИИ) столкнулись с проблемой, когда специалисты в различных областях профессиональной деятельности не могут сформулировать принципы, на основании которых они принимают правильные решения на практике. И здесь в первую очередь следует указать на работу поездных и авиадиспетчеров.

Так, разработчики автоматизированных систем, пытаясь изучить работу поездного диспетчера, не могут понять, каким образом он принимает решение. Самое интересное, что сам диспетчер не может это объяснить. Конечно, это обстоятельство не означает, что большое число задач принятия решений не может быть формализовано и, прежде всего, это задачи оптимизации, т. е. задачи принятия оптимальных решений.

Для структурированных навыков, а к таковым следует отнести навыки вождения электровозов, автомобилей, самолетов и т. д., в теории адаптивного обучения существует следующий понятийный аппарат, а именно: *тип задачи*, *упрощение*, *«фактор ошибки»*, *индекс скорости обучения*, и существование различных подвидов навыка. Более того, можно говорить о существовании различных связей между этими понятиями: например, утверждать, что положительный перенос умения (то есть факт, что умение решать одну задачу помогает обучаемому усвоить метод решения другой) действительно имеет или не имеет место для различных типов задач; что отрицательный перенос умения (понятие, обратное положительному переносу умения) имеет или не имеет место. Также можно утверждать, что даже в отсутствии отрицательного переноса умения имеется или не имеется непосредственная интерференция между решением ассоциированных типов задач в том смысле, что осуществление одного навыка *интерферирует* с осуществлением другого до тех пор, пока в процессе обучения не будет приобретен метод решения задач более высокого порядка, и, наконец, что один навык обязательно должен быть усвоен еще до усвоения второго. Однако нет необходимости знать количественную сторону этих связей, и обычно она зависит от индивидуальных различий, выявляемых адаптивной обучающей машиной.

В этой связи логично предположить, что если адаптивная машина должна обучать, например, навыку вождения, состоящему из различных поднавыков, то положительный (но не отрицательный) перенос умения имеет место между типами задач, характеризующими каждый из этих поднавыков. Также предположим, что обучение определенному поднавыку, скажем  $i$ -го типа ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), влечет за собой решение задач  $i$ -го типа. Исходя из этих предположений, можно заключить, что хотя скорость обучения будет критически зависеть от частоты повторения поднавыков, порядок их повторения не будет заметно влиять на скорость при условии, что каждый поднавык повторяется хотя бы один раз за данный отрезок времени (который всегда меньше по сравнению с продолжительностью всего режима обучения).

Рассмотрим основные идеи, идущие от Г. Паска [4], которые, на наш взгляд, чрезвычайно актуальны при разработке адаптивных тренажеров на транспорте.

Адаптивная машина сродни партнеру в особого рода диалоге. В частности, она обладает способностью «выявлять» характерные особенности обучаемого для того, чтобы «научить» его. Для всех «обучающих» машин, используемых в качестве механизмов управления, справедливо, что должна существовать некая модель управляемого процесса, дабы обеспечить каркас, в рамках которого может происходить «обучение».

Одна из возможных стратегий нахождения действительных параметров оператора — это стратегия случайного варьирования параметров (с регистрацией результатов в памяти, чтобы могли быть выбраны наиболее выгодные вариации) — оказалась, как хорошо известно, непрактичной. Более того, если объектом является человек, этот метод становится *невозможным*, ибо коммуникативная система «человек-машина» (внутри которой имеет смысл вариация параметров) должна активно *поддерживаться* обучающей машиной. Поэтому устройству не представляется никакой возможности для продолжительного экспериментирования, которое потребовалось бы для обнаружения таких далеко не очевидных фактов, как *действительные* «параметры» оператора. Эти факты и общие принципы — как машине следует изучать оператора — должны быть заложены в устройство с самого начала. В вычислительной технике такие заявляемые ограничения и образуют программу (но каждая программа может продуцировать много различных режимов обучения, зависящих не только от непосредственно предшествующего ответа оператора, как в системе Н. Краудера, но также и от адаптивных изменений, происходящих в обучающей машине).

Данное существенное обстоятельство было нами проверено в серии предварительных экспериментов, в которых изучалось среднее время ответов при предъявлении стимульных последовательностей, в которых варьировались

время экспозиции, яркость помех, размер цели [1]. Отсюда следует, что в адаптивной системе порядок, в котором предъявляются задачи данного типа, является несущественным, и, следовательно, как только выбран конкретный поднавык, можно создать режим обучения с помощью предопределенной и произвольной последовательности отобранных элементов. Далее, так как не достигается никакого преимущества от предвидения следующего события в этой создаваемой последовательности, относительная неуверенность обучаемого (которая по мере обучения уменьшается), возникающая при предъявлении некоторой задачи, является неуверенностью относительно решения именно этой задачи, а, скажем не следующей. Наконец, не будет большим преувеличением предположить, что каждому поднавыку свойствен один-единственный «фактор ошибки», что позволяет рассмотреть процедуру упрощения одного вида для каждого поднавыка.

Не вызывает сомнения, что эту простую модель, примененную нами к такому ограниченному случаю, как изучение индивидуальных особенностей сенсорно-перцептивных характеристик человека-оператора, можно использовать без затруднений для понимания всего диапазона «структурированных навыков».

При создании адаптивной машины недостаточно определить только конечное поведение обучаемого, но также необходимо предусмотреть набор методов решения задач. В результате адекватная модель оператора транспортных средств должна иметь по крайней мере два компонента.

Во-первых, должна существовать модель поведения, описывающая такие физические события, как отбор стимулов и ответов, и правила, определяющие верный ответ. Во-вторых, эта часть модели может также содержать правила адаптации, она может быть расчленяемой (в том смысле, что стимулы могут быть отнесены к типу, характеризующему данный поднавык в зависимости от вызываемой ими адаптации). Наконец, она включает в себя физические процедуры, которые модифицируют стимулы для того, чтобы посредством упрощения произвести другие стимулы.

Затем должен существовать алгоритмический или вычислительный компонент модели, который описывает задачи различных типов, решения этих задач и частичные решения. Эта часть модели может также содержать правила, определяющие конструирование алгоритмов решения задач (слово «алгоритм» употребляется здесь в значении хорошо определенной процедуры), и другие правила, уточняющие, какие алгоритмы могут считаться приемлемыми.

Связь между этими компонентами есть не что иное, как связь, существующая между моделируемым вычислительной машиной «искусственным интеллектом» или программой решения задач, и механизмом управления,



в рамках которого данный «искусственный интеллект» осуществляет необходимые вычисления. Поэтому будет удобнее называть один компонент искусственным интеллектом, или ИИ-моделью, а другой — моделью устройства управления, или УУ-моделью. Но задача не выступает в качестве стимула, а, наоборот, решения задач достигаются путем применения алгоритмов или специальных программ, а применение алгоритмов «вызывает» поведение. Когда в ИИ-модели созданы алгоритмы, это может привести к изменению поведения в УУ-модели, что в терминах УУ является адаптацией. Связь между ИИ- и УУ-моделями зависит от готовности обучающегося интерпретировать физические стимулы как нечто, обозначающее задачи, и рассматривать некоторые альтернативы ответа как нечто, находящееся в соответствии с возможными альтернативными решениями. Эту готовность удобно рассматривать как удовлетворение аксиомы соответствия. Таким образом, эффективность адаптивной системы обучения зависит от готовности человека обучаться навыку и производить успешное действие. Согласие обучающегося в этом случае удобно расценивать как удовлетворение аксиомы предпочтения. В конечном итоге единство ИИ- и УУ-моделей зависит от справедливости аксиом соответствия и предпочтения.

Здесь мы вступаем в область педагогической психологии, что естественно, так как адаптивная система, как и живой преподаватель, имеет дело с обучением человека. Следовательно, основные факторы, с необходимостью обеспечивающие процесс обучения, — это факторы мотивации — то, что Г. Паск называет аксиомами готовности и предпочтения у обучаемого.

В этой связи следует привести выводы О. А. Конопкина и Л. С. Нерсисяна [7] о том, что прогностическая способность методик профотбора машинистов в значительной степени зависит от отношения испытуемых к исследованию его профессионально значимых качеств. Поэтому аксиому готовности и предпочтения у обучаемого, т. е. основные мотивы к формированию того или иного навыка, только в первом приближении можно считать справедливыми.

В разработанной нами адаптивной системе обучения это означает, что обучающийся должен прежде всего обращать внимание всегда, когда это возможно, на вход соответствующих (релевантных) стимулов и всегда, когда это возможно, оказывать предпочтение целенаправленной адаптации, удовлетворяющей определенному набору правил, позволяющих осуществлять правильный ответ на определенную стимульную последовательность.

Следующая важная психологическая проблема, возникающая при создании адаптивной обучающей системы, заключается в такой организации последовательности стимулов, чтобы она обеспечивала доступные для понимания

задачи, которые обладают также свойством обеспечивать достаточное разнообразие или новизну. Это позволит поддерживать требуемую скорость адаптации.

Практика обучения и психологическая теория не раз доказывали, что никакая конечная и доступная для понимания среда, требующая единственного типа решения задачи, не может бесконечно поддерживать внимание человека. Люди весьма быстро утомляются, если они вынуждены выполнять однообразную работу, что не наблюдается в тех случаях, когда они постигают новые методы выполнения работы, т. е. в определенном смысле выполняют различные работы. Отсюда следует, что первоначальная задача поддержания стабильной коммуникативной системы человек-машина (системы диалога) зависит от поддержания баланса между новизной и доступностью для понимания релевантных стимулов.

Соблюдение двух отмеченных фундаментальных факторов — готовности и предпочтения, с одной стороны, и разнообразия заданий — с другой, являются необходимыми условиями для реализации адаптивной системы.

Вместе с этим встает вопрос: можно ли рассматривать человека как самоорганизующую систему, способную сохранить определенную скорость адаптации. В пользу этого свидетельствуют следующие факты из когнитивной психологии, полученные опытным путем.

1. С функциональной точки зрения человек ведет себя в каждый момент времени как вычислительная система, осуществляющая одновременно один тип вычислений. Он имеет определенное поле внимания, охватывающее конечный и наблюдаемый интервал, включающий вход в эту вычислительную систему, и предполагаемые альтернативы ответа, выбор из которых составляет ее выход.

2. Эта вычислительная система имеет максимальную пропускную способность по обработке информации, если исходить из неопределенности (относительно выхода, когда состояние входа дано), которую она способна разрешить. Ситуации превышения этой емкости полагаются некорректными и могут сопровождаться эффектами перегрузки.

3. Существует также минимальная пропускная способность по обработке информации (другими словами, нормальный человек обязательно обращает внимание и разрешает неопределенности, свойственные *некоторым* ситуациям).

4. Обработка данных некорректных ситуаций приводит к адаптации в УУ-модели и к созданию алгоритма в ИИ-модели. Основным условием стабильности вычислительной системы является необходимость поддерживать определенную скорость адаптации.

Итак, подводя итог психологическим аспектам, можно констатировать, что для реализации системы управления адаптивным процессом обучения необ-

ходимо наличие следующих двух факторов. Во-первых, необходим метод измерения скорости адаптации оператора для того, чтобы можно было регулировать разнообразие стимульной последовательности, и, во-вторых, необходим метод организации этого разнообразия.

При целенаправленной адаптации, т. е. когда оператором выполняются условия предпочтения и готовности, оказывается возможным, во первых, использовать скорость изменения критерия правильного ответа в качестве индекса скорости адаптации и, во-вторых, идентифицировать варьирование степени упрощения с варьированием разнообразия стимульной последовательности.

В нашей адаптивной системе варьирование разнообразия осуществлялось не только изменением степени упрощения, но и изменением вероятностной структуры стимульной последовательности. Это определяется тем обстоятельством, что никакая среда, требующая одного-единственного способа решения задачи, не является бесконечно адекватной, и так как в любом случае навык состоит из нескольких различных поднавыков, которые необходимо повторять, упрощение единственного типа задачи нельзя считать достаточно стабилизирующей процедурой, и оно должно быть дополнено дальнейшим процессом, изменяющим тренируемый навык. Наконец, когда разнообразие всех  $n$  поднавыков исчерпывается, даже эта стабилизирующая процедура становится неэффективной. Поэтому конечное состояние адаптивной обучающей машины, как это на первый взгляд не парадоксально, нестабильно.

Перед тем как описать механизм, реализующий стратегии субконтроллеров, ответственных за адаптивное формирование того или иного поднавыка, а также общего контроллера, ответственного за выбор того или иного субконтроллера, сделаем несколько определений, относительно функционирования УУ-модели, которые лежат в основе структуры механизма управления.

1. Условием УУ-модели для самоорганизующейся системы является поддержание определенной скорости целенаправленной адаптации, скажем  $\Delta\Sigma_i > 0$ , где  $\Sigma_i = \Sigma_{i\mu}$  независимо от значения упрощения  $\mu$  и где

$$\Delta\Sigma_i(t) = [\Sigma_i(t) - \Sigma_i(t - \tau)]/\tau$$

является конечной разностью на интервале  $\tau$ , как показано на рис. 13. 3.

В нашей адаптивной системе  $\Delta\Sigma_i(t) = [K_{гэдi}(t) - K_{гэдi}(t - \tau)] / \tau$ , т. е. скорость целенаправленной адаптации связывалась со скоростью изменения коэффициента готовности к экстренному действию ( $K_{гэд}$ ), о котором подробно говорилось в нашей работе [2].

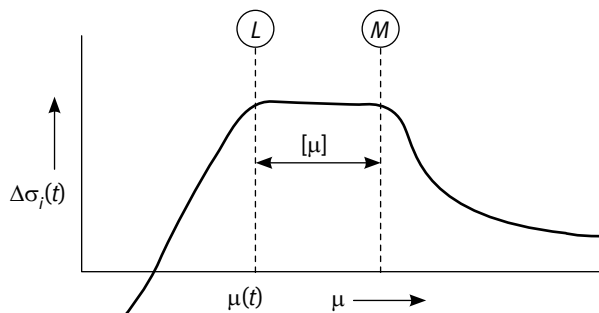


Рис. 13.3. Зависимость  $\Delta\sigma_i$  от величины упрощения  $\mu$

2. Границы  $L$  и  $M$  на рис. 13.3 представляют собой индексы стабильного состояния УУ-модели ( $L$  есть точка перегрузки, а ниже  $M$ , точки недогрузки, происходит адаптация, отличная от релевантной).

В соответствии с УУ-моделью можно подсчитать меры информационного типа по К. Шеннону:

$$H_i = -\sum_x p(y^+|x) \log p(y^+|x) \rightarrow -\sigma_i \log \sigma_i$$

и заявить, что поддержание  $-\Delta H_i > 0$  — есть условие УУ-модели для самоорганизующейся системы.

3. В силу перегрузки, ведущей к ошибочным ответам и быстрому уменьшению значения  $\Delta\sigma_i$ , связь между  $\Delta\sigma_i$  и  $\mu$  в данный момент  $t$  выражается в виде графика, показанного на рис. 13.3.

Очевидно, что точная связь, показанная на этом рисунке, непрерывно изменяется по мере обучения оператора, но разрывность в  $L$  остается характерной чертой до тех пор, пока навык не будет полностью усвоен (то есть до тех пор, пока даже неупрощенным задачам не удастся вызвать ошибочные ответы).

Структура механизма управления показана на рис. 13.4 (все отмеченные на этом рисунке блоки представляют собой программные модули,  $i$  принимает значение  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ). Она состоит из программного модуля, осуществляющего вычисления (вычислительный модуль), и модуля сравнения, которые оценивают  $\Sigma_i$  и  $\Delta\Sigma_i$  набора в общем случае из  $n$  определенных элементов, называемых субконтроллерами (в нашей адаптивной системе  $n = 5$ ), ответственными за стабилизацию связи, когда данный поднавык уже выбран для повторения программным модулем, называемым общим контроллером. Последний осуществляет выбор из набора, состоящего из  $n$  субконтроллеров (в нашей адаптивной системе из пяти субконтроллеров и, следовательно, из пяти поднавыков).

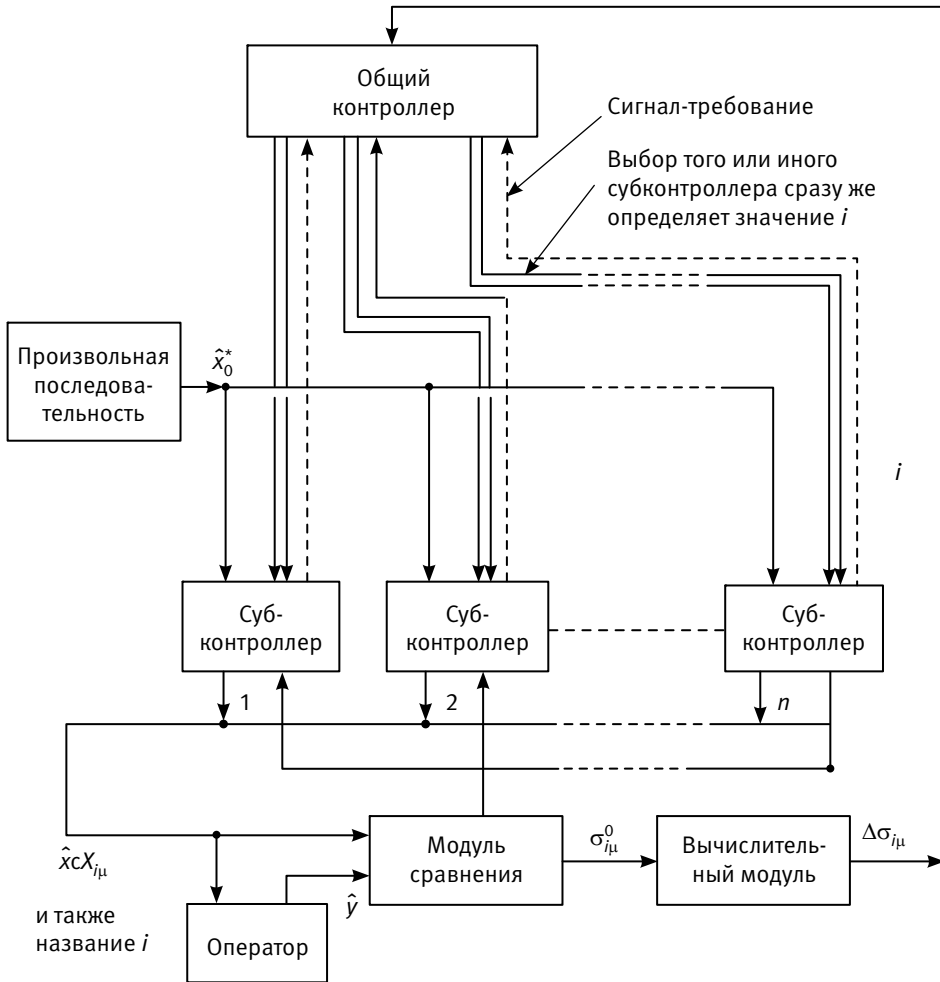


Рис. 13.4. Структурная схема механизма управления адаптивной обучающей системы

Так как предполагается, что порядок, в котором предъявляются стимулы, соответствующие задачам данного типа (обусловленные данным поднавыком), является несущественным, режим обучения может быть получен из предопределенной и произвольной последовательности  $x_0^* \in X^*$ , причем любой член  $x^* \in x_0^*$  появляется вскоре после ответа, и  $x^*$  отстоят друг от друга не более чем на  $\Delta t$ . Выбор значения  $i$  сводит эту последовательность к  $x^* \in X_i^*$ ,  $i$ -й субконтроллер упрощает эту сведенную последовательность путем изменения значения  $\mu$  таким образом, чтобы получить  $x = \phi_{i\mu}(x^*) \in X_{i\mu}$  на выходе.

В нашей адаптивной системе количество упрощений  $\mu$  в каждой последовательности  $x \in X_i^*$  равно 10, т. е. время экспозиции, яркость помех, размер цели имеют десять градаций.

Вероятностная структура стимульной последовательности отражает реальные ситуации, с которыми приходится иметь дело машинисту электровоза, — от маловероятных до высоковероятных. Эта вероятностная структура определяет также и число поднавыков, и, соответственно, число субконтроллеров.

Кратко опишем, в чем заключается стабилизирующая стратегия субконтроллера. Предположим, что выбран  $i$ -й субконтроллер. Как показано на рис. 13.5, он получает на входе  $\Delta\Sigma_i$  и выдает на выходе величину упрощения  $\mu$ . Для того чтобы поддержать стабильную систему связи, он должен удовлетворять условию для самоорганизующейся системы, сформулированному для УУ-модели, а именно, он должен подобрать такое значение  $\mu$ , чтобы сохранялось  $\Delta\Sigma_i > 0$ , или, в терминах ИИ-модели, он должен обеспечить последовательность задачи, которая, будучи корректной, достаточно разнообразна, чтобы поддержать активный процесс обучения.

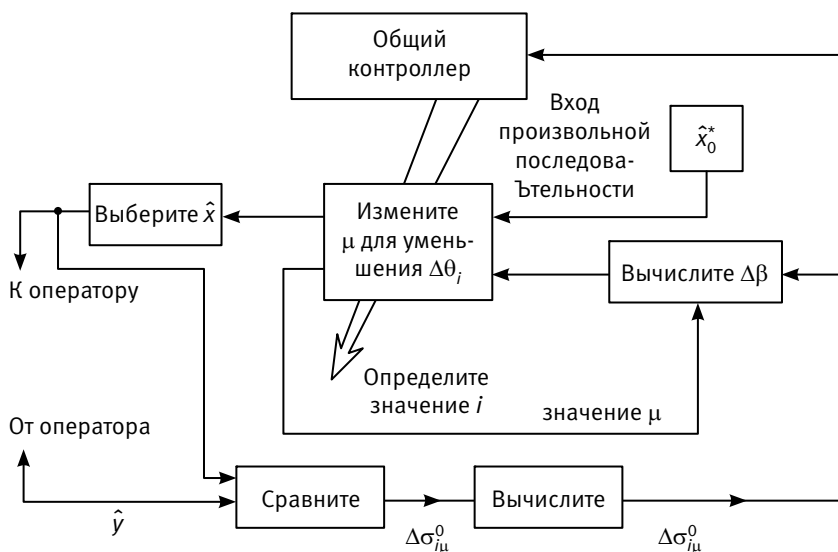


Рис. 13.5. Последовательность прохождения задачи через субконтроллер

При условии, что существует связь вида, представленного на рис. 13.3, требуемое значение  $\mu$  лежит в области  $[\mu]$ . Но, как указывалось ранее, форма кривой на рис. 13.3 изменяется по мере обучения оператора. Поэтому субконтроллер должен произвести оценку изменения  $\Delta\Sigma_i$  в результате изменения значения  $\mu$ .

Если принять, что распределение  $\Delta\Sigma_i(\mu)t$  будет иметь только один пик для всех значений  $t$  (для всех точек процесса обучения), тогда от субконтроллера требуется только поддерживать значения

$$\Delta\Sigma_i^+ = \text{ожидаемое значение } \Delta\Sigma_i \text{ при данном } + \Delta\mu,$$

$$\Delta\Sigma_i^- = \text{ожидаемое значение } \Delta\Sigma_i \text{ при данном } - \Delta\mu,$$

где  $\Delta\mu$  — однократное возрастающее изменение  $\mu$  каждого из  $m$  предъявленных стимулов.

Стратегия субконтроллера призвана выбрать на основании группы из  $m$  стимулов коррекцию:

$$+\Delta\mu, \text{ если } \Delta\Sigma_i^+ > \Delta\Sigma_i^-,$$

$$-\Delta\mu, \text{ если } \Delta\Sigma_i^- > \Delta\Sigma_i^+,$$

$$0, \text{ если } \Delta\Sigma_i^+ = \Delta\Sigma_i^-.$$

Принципиально важно выделение временного интервала между предъявлением проблемной ситуации и подсказывающей информацией (упрощением), как фактора, определяющего трудность проблемной ситуации. Важно здесь не только выделение времени как фактора, определяющего трудность проблемы, но и сам порядок предъявления учебного задания и усваиваемой информации.

В психологических экспериментах доказано, что процесс усвоения начинается с возникновения проблемной ситуации, с возникновением у учащегося потребности в усваиваемых новых знаниях. Эта последовательность является одной из важнейших психологических закономерностей мышления, моделируемых в самообучающихся системах. Трудность проблемной ситуации, определяемая временным интервалом между возникновением проблемной ситуации и подсказкой, зависит от степени интеллектуального преобразования проблемы с целью ее решения и времени предъявления подсказки. Во всех случаях, когда общая трудность соответствует возможностям обучаемого и когда тот активно работает над решением проблемы, временной интервал является фактором, имеющим важное значение в адаптации проблемы к процессу усвоения, и может выступать одним из факторов управления этим процессом. При этом нужно иметь в виду, что минимум временного интервала должен

соответствовать времени осознания учебного задания обучаемым, а его максимум не должен превышать времени самостоятельного решения проблемной ситуации обучаемым. В противном случае предъявление подсказывающей информации будет бесполезным.

Преподаватель, стремящийся сформировать рассматриваемый нами навык, будет, несомненно, стремиться максимизировать среднюю скорость правильных ответов. Поэтому в случае субконтроллеров он будет стремиться максимизировать  $\Delta\Sigma_i$ . С другой стороны, преподаватель уделит должное внимание и решению менее упрощенных задач, например, он не допустит, чтобы увеличение  $\Delta\Sigma_i$  в результате увеличения  $\mu$  (а следовательно, и увеличения упрощения) оказалось столь же значимым, как и увеличение  $\Delta\Sigma_i$ , полученное за счет уменьшения  $\mu$  (а следовательно, уменьшения упрощения). Учитывая это, Г. Паск, приписывая единичную стоимость единице упрощения, разумный выигрыш в обучении при выборе  $i$ -го субконтроллера получает в виде

$$\Delta\theta_i = \text{среднее для } \mu \text{ из } [\Delta\Sigma_i\mu(1 - \mu/\mu_{\max})].$$

В нашей адаптивной системе  $\Delta\theta_i = \text{среднее для } \mu \text{ из } [K_{\text{гэди}}(t) - K_{\text{гэди}}(t - \tau)]\mu(1 - \mu/\mu_{\max})$ .

Выигрыш для набора субконтроллеров выразится в виде (при условии, что дано  $\Delta\theta_i \geq 0$  для всех значений  $i$ ):

$$\Delta\theta = \Sigma_i \Delta\theta_i.$$

Очевидно, стабилизирующая стратегия максимизирования значения  $\Delta\Sigma_i$  и зависящего от этого условия минимизирования степени упрощения  $\mu$  будет также максимизировать значение  $\Delta\theta_i$ . Далее, так как  $\Delta\theta_i \geq 0$  для всех  $i$  и так как перебираются все значения  $i$ , стратегия будет стремиться максимизировать  $\Delta\theta$ . Исходя из вышеизложенного, учитывая значимость степени упрощения при выборе субконтроллера, необходимо осуществить сохранение этого параметра в памяти. Так, если в момент  $t = t_i$   $i$ -й субконтроллер требует своего переизбрания, значение  $\mu$  при  $t = t_i$ , скажем  $\mu^*$ , удерживается в памяти и используется как исходное значение  $\mu$  при очередном избрании  $i$ -го субконтроллера.

Теперь рассмотрим стратегию общего контроллера на примере нашей адаптивной системы. Если мы формируем один поднавык, например формирование оптимального реагирования в условиях предъявления маловероятных сигналов, то, в конечном счете, поддержание стабильного взаимодействия окажет-



ся невозможным, так как оператор исчерпает разнообразие любого из типов задач (или любого одиночного поднавыка, скажем  $i$ -го поднавыка).

Разнообразие задач осуществлялось у нас выбором вероятностной структуры стимульной последовательности, которая принимает значения  $P = [(p_1, p_2, \dots, p_n)]$ . Поэтому, если формируемый навык состоит из нескольких поднавыков, то когда  $i$ -й субконтроллер становится нестабильным, общий контроллер должен его заменить, т. е. в нашей системе осуществить переход к другой вероятностной структуре стимульной последовательности.

Чтобы определить стратегию общего контроллера, обратимся к практике обучения людей, в том числе операторов, сохраняя принятую терминологию.

Если взять за основу, что ожидаемый выигрыш в увеличении целенаправленной адаптации зависит только от избранного субконтроллера, то общий контроллер должен осуществлять свой выбор путем оценки вектора вероятности выбора  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$ , где  $p_i = p(x \in X_i)$ .

Этот вектор является нормализованной формой вектора вычисляемых ожиданий приращений скоростей адаптации

$$(\Delta\Sigma_1^*, \Delta\Sigma_2^*, \dots, \Delta\Sigma_n^*).$$

При осуществлении выбора  $i$ -го субконтроллера общий контроллер корректирует значение  $\Delta\Sigma_i^*$ . Так, если первоначально  $i$ -й субконтроллер был избран при  $t = t_0$ , а осуществление нового выбора производится в момент  $t = t_r$ , то инкремент, пропорциональный полученной разности прибавляется к существующему значению  $\Delta\Sigma_i^*$  и усредняется. Таким образом,

$$\Delta\Sigma_i^*(t_r + dt) = \frac{1}{2} \left[ \Delta\Sigma_i^*(t_0) + \frac{\sigma_i(t_r) - \sigma_i(t_0)}{t_r - t_0} \right],$$

где  $\Sigma_i(t_0)$  есть значение  $\Sigma_i$  при  $t = t_0$  и  $\Sigma_i(t_r)$  при  $t = t_r$ .

Это стратегия случайного варьирования параметров с регистрацией результатов в памяти с последующим выбором наиболее оптимальных вариаций.

Однако, если объектом является человек, этот метод становится невозможным. Коммуникативная система «человек-машина» (внутри которой имеет смысл вариация параметров) должна активно поддерживаться обучающей машиной. Поэтому устройству не представляется никакой возможности для продолжительного экспериментирования, которое потребовалось бы для обнаружения таких далеко не очевидных фактов, как действительные «параметры»

обучаемого. Эти факты и общие принципы — как машине следует изучать оператора — должны быть заложены в устройство с самого начала.

Изложенные выше соображения могут быть положены в основу построения адаптивных транспортных тренажеров.

В заключение отметим те преимущества, которые дает применение адаптивных обучающих систем в тренажерах и которые нашли подтверждение в нашей экспериментальной работе.

Во-первых, существенное (двукратное) снижение времени формирования навыка.

Во-вторых, прочность навыка у операторов, прошедших обучение с применением адаптивной обучающей системы, существенно выше, чем при традиционном обучении.

В-третьих, адаптивная самоорганизующаяся система позволяет обеспечить *в равной степени* прочное формирование *всех* поднавыков, входящих в структурированный навык.

Наконец, в-четвертых, операторы, обученные с применением адаптивной обучающей системы, более устойчивы по отношению к произвольным возмущениям в ситуациях, требующих обработки поступающей информации, чем операторы, не прошедшие этот вид обучения. Это обстоятельство мы выяснили в специальном эксперименте, когда, объявив испытуемым одну вероятностную структуру стимульной последовательности, на самом деле предъявили другую, т. е. ввели ложную информацию.

## Контрольные вопросы

1. Как происходит формирование навыков и умений?
2. Назовите основные характеристики современных тренажеров для подготовки операторов.
3. Охарактеризуйте психолого-педагогические принципы построения тренажеров для подготовки диспетчерского состава.
4. Назовите психологические принципы применения тренажеров.
5. В чем заключается преимущества применения адаптивных систем в тренажеростроении?

## Рекомендуемая и цитируемая литература

1. Воронин В. М. Современная инженерная психология на железнодорожном транспорте / В. М. Воронин. — Екатеринбург : УрГУПС, 2011. — 279 с.
2. Мунипов В. М. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды : учебник / В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. — М. : Логос, 2001. — 356 с.
3. Основы инженерной психологии / под ред. Б. Ф. Ломова. — М. : Высш. шк., 1986.
4. Pask G. Teaching as a control — engineering process / G Pask. — «Control», 1965. — N1, 2, 3, 4.
5. Денисов В. Г. Авиационная инженерная психология / В. Г. Денисов, В. Ф. Онищенко, А. В. Скрипец. — М., 1977. — С. 216.
6. Малашинин И. И. Тренажеры для операторов АЭС / И. И. Малашинин, И. И. Сидорова. — М., 1979. — С. 152.
7. Нерсесян Л. С. Инженерная психология и проблема надежности машиниста / Л. С. Нерсесян, О. А. Конопкин. — М., 1978. — С. 239.
8. Бодров В. А. Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В. А. Бодров, В. Я. Орлов. — М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. — 288 с.
9. Сергеев С. Ф. Новые технологии в образовании / С. Ф. Сергеев // Новые технологии в образовании. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета. — 2011. — № 6. — С. 118–123.

# Заключение

Основной целью исследований по созданию и эксплуатации человеко-машинных транспортных систем является обеспечение максимальной надежности и эффективности функционирования этих систем. В конечном итоге они определяют все остальные показатели работы железнодорожного, авиационного и других видов транспорта. Не вызывает сомнений, что обеспечение максимальных значений надежности и эффективности функционирования сверхбольших эргатических систем, таких как железнодорожный или авиационный транспорт, возможно лишь при системном подходе к решению этой важнейшей проблемы.

Задачи, стоящие перед транспортом в настоящее время, — в эпоху высоких скоростей, мощных локомотивов, сложных устройств автоматики и телемеханики, интеллектуальных транспортных систем, — диктуют необходимость повышенного внимания к эргономике, которая сама должна претерпеть серьезные эволюционные изменения.

В этой связи на первый план выступают эргономическое проектирование сверхсложных больших эргатических систем, математическое и имитационное моделирование человеческой деятельности по управлению такими системами и их компонентами, разработка фундаментальных основ создания интеллектуальных систем с использованием комплексных междисциплинарных подходов и формализации опыта высококвалифицированных специалистов.

Чтобы успешно решать вставшие перед страной проблемы, необходимо по-новому готовить инженерные кадры. Знание основ когнитивной и инженерной психологии, психологии труда, эргономики и других наук о трудовой деятельности человека, умение пользоваться современными методами решения различных задач организации деятельности человека и его профессиональной подготовки — в настоящее время необходимая основа высокой квалификации как проектировщиков человеко-машинных транспортных систем и операторов, так и инструкторов по обучению, специалистов по профотбору, психофизиологическому контролю и ряда других специалистов.

Автор выражает надежду, что его книга будет способствовать качественной подготовке будущих инженеров.

# ГОСТы в эргономике

1. ГОСТ 12.2.130–91 Система стандартов безопасности труда. Экскаваторы одноковшовые. Общие требования безопасности и эргономики к рабочему месту машиниста и методы их контроля.
2. ГОСТ 12.2.049–80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ 12.2.033–78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
5. ГОСТ ИСО 8995–2002 Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений.
6. ГОСТ Р 50949–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
7. ГОСТ Р 50948–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
8. ГОСТ Р 50949–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
9. ГОСТ Р 50948–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
10. ГОСТ 29.05.006–85 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Трубки электронно-лучевые приемные. Общие эргономические требования.
11. ГОСТ 29.05.002–82 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Индикаторы цифровые знакосинтезирующие. Общие эргономические требования.
12. ГОСТ 22902–78 Система «Человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
13. ГОСТ 22615–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
14. ГОСТ 22614–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.
15. ГОСТ 22613–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.
16. ГОСТ Р ИСО 9241–3–2003 Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 3. Требования к визуальному отображению информации.

17. ГОСТ Р ИСО 15534–3–2007 Эргономическое проектирование машин для обеспечения безопасности. Часть 3. Антропометрические данные.
18. ГОСТ Р ИСО 11399–2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Принципы и применение признанных международных стандартов.
19. ГОСТ Р ИСО 10551–2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки.
20. ГОСТ Р 52324–2005 Эргономические требования к работе с визуальными дисплеями, основанными на плоских панелях. Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями.
21. ГОСТ Р 51341–99 Безопасность машин. Эргономические требования по конструированию средств отображения информации и органов управления. Часть 2. Средства отображения информации.
22. ГОСТ Р 51337–99 Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей.
23. ГОСТ Р 50949–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
24. ГОСТ Р 50949–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
25. ГОСТ Р 50948–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
26. ГОСТ Р 50948–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
27. ГОСТ Р 50923–96 Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
28. ГОСТ Р 50570–93 Машины напольного безрельсового электрифицированного транспорта. Рабочее место водителя. Общие эргономические требования.
29. ГОСТ Р 29.08.004–96 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Рабочее место диспетчера служб управления воздушным движением. Методы оценки соответствия общим эргономическим требованиям.
30. ГОСТ Р 29.05.008–96 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Рабочее место диспетчера служб управления воздушным движением. Общие эргономические требования.
31. ГОСТ ИСО 8995–2002 Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений.
32. ГОСТ 30.001–83 Система стандартов эргономики и технической эстетики. Основные положения.
33. ГОСТ 29.05.006–85 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Трубки электронно-лучевые приемные. Общие эргономические требования.
34. ГОСТ 29.05.002–82 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. индикаторы цифровые знаковинтегрирующие. Общие эргономические требования.

35. ГОСТ 28392–89 Мнемосхемы авиационные. Общие эргономические требования.
36. ГОСТ 27626–88 Лицевые части авиационных индикаторов и приборов. Общие эргономические требования.
37. ГОСТ 27472–87 Средства автотранспортные специализированные. Охрана труда, эргономика. Требования.
38. ГОСТ 23000–78 Система «Человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
39. ГОСТ 22902–78 Система «Человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
40. ГОСТ 22615–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
41. ГОСТ 22614–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.
42. ГОСТ 22613–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.
43. ГОСТ 22269–76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
44. ГОСТ 21958–76 Система «Человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.
45. ГОСТ 21889–76 Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
46. ГОСТ 21829–76 Система «Человек-машина». Кодирование зрительной информации. Общие эргономические требования.
47. ГОСТ 21786–76 Система «Человек-машина». Сигнализаторы звуковые неречевых сообщений. Общие эргономические требования.
48. ГОСТ 21753–76 Система «Человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования.
49. ГОСТ 21752–76 Система «Человек-машина». Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.
50. ГОСТ 21480–76 Система «Человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.
51. ГОСТ 20.39.108–85 Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора.
52. ГОСТ 21480–76 Система «Человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.
53. ГОСТ Р ИСО 9241–3–2003 Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (ВДТ). Часть 3. Требования к визуальному отображению информации.
54. ГОСТ Р 52324–2005 Эргономические требования к работе с визуальными дисплеями, основанными на плоских панелях. Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоскими панелями.
55. ГОСТ Р 50948–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.

56. ГОСТ Р 50923–96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
57. ГОСТ Р иСО 15534–3–2007 Эргономическое проектирование машин для обеспечения безопасности. Часть 3. Антропометрические данные.
58. ГОСТ Р иСО 11399–2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Принципы и применение признанных международных стандартов.
59. ГОСТ Р иСО 10551–2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки.
60. ГОСТ Р 50949–96 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерения и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
61. ГОСТ Р 50949–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности.
62. ГОСТ Р 50948–2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
63. ГОСТ Р 29.08.004–96 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Рабочее место диспетчера служб управления воздушным движением. Методы оценки соответствия общим эргономическим требованиям.
64. ГОСТ Р 29.05.008–96 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Рабочее место диспетчера служб управления воздушным движением. Общие эргономические требования.
65. ГОСТ 30.001–83 Система стандартов эргономики и технической эстетики. Основные положения.
66. ГОСТ 29.05.006–85 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Трубки электронно-лучевые приемные. Общие эргономические требования.
67. ГОСТ 29.05.002–82 Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. индикаторы цифровые знаковинтегрирующие. Общие эргономические требования.
68. ГОСТ 23000–78 Система «Человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
69. ГОСТ 22902–78 Система «Человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования.
70. ГОСТ 22615–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования.
71. ГОСТ 22614–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.
72. ГОСТ 22613–77 Система «Человек-машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования.
73. ГОСТ 22269–76 Система «Человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
74. ГОСТ 21958–76 Система «Человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.



75. ГОСТ 21889–76 Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
76. ГОСТ 21829–76 Система «Человек-машина». Кодирование зрительной информации. Общие эргономические требования.
77. ГОСТ 21786–76 Система «Человек-машина». Сигнализаторы звуковые неречевых сообщений. Общие эргономические требования.
78. ГОСТ 21753–76 Система «Человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования.
79. ГОСТ 21752–76 Система «Человек-машина». Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.
80. ГОСТ 21480–76 Система «Человек-машина». Мнемосхемы. Общие эргономические требования.
81. ГОСТ 20.39.108–85 Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора.
82. ГОСТ 27472–87 Средства автотранспортные специализированные. Охрана труда, эргономика. Требования.
83. ГОСТ 27626–88 Лицевые части авиационных индикаторов и приборов. Общие эргономические требования.
84. ГОСТ 28392–89 Мнемосхемы авиационные. Общие эргономические требования.
85. ГОСТ Р 50570–93 Машины напольного безрельсового электрифицированного транспорта. Рабочее место водителя. Общие эргономические требования.
86. ГОСТ Р 51341–99 Безопасность машин. Эргономические требования по конструированию средств отображения информации и органов управления. Часть 2. Средства отображения информации.
87. ГОСТ Р 51337–99 Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей.
88. ГОСТ и СО 8995–2002 Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений.

*Учебное издание*

**В. М. Воронин**

# **Эргономика больших систем**

**Учебник**

Редактор *С. И. Семухина*

Верстка — *А. В. Трубин*

Подписано в печать 25.12.2017. Формат 70×100/16.

Усл. печ. л. 31,1. Тираж 120 экз.

Заказ 254.

УрГУПС

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66